



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Fachbereich Informatik

Wissens- und Sprachverarbeitung (WSV)

Die Geometrie des persönlichen Raums

Modellierung innerhalb eines Animationswerkzeugs

Bachelorarbeit

Sven Röhling

Matr.Nr. 5887082

sven.roehling@informatik.uni-hamburg.de

8. September 2011

Erstgutachter: Prof. Dr. Christopher Habel

Mitgutachter: Dr. Carola Eschenbach

Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel - insbesondere keine im Quellenverzeichnis nicht benannten Internetquellen - benutzt habe, die Arbeit vorher nicht in einem anderen Prüfungsverfahren eingereicht habe und die eingereichte schriftliche Fassung der auf dem elektronischen Speichermedium entspricht

Sven Röhling

Kurzfassung

Heutzutage werden Roboter in unserem Leben immer präsenter und übernehmen fortlaufend eine steigende Anzahl an Aufgaben in unserem Alltag. Dieses hat zur Folge, dass Roboter und Menschen zwangsläufig mehr und mehr in Interaktion treten. Um Konflikte zwischen diesen beiden Parteien zu vermeiden, verfolgt eine Strategie den Ansatz, dafür zu sorgen, dass Roboter soziale Räume respektieren. Der persönliche Raum als eine Art der sozialen Räume kann vereinfacht gesehen, als Luftblase um den einzelnen Menschen betrachtet werden. Betritt jemand unseren eigenen persönlichen Raum, ohne dass wir damit einverstanden sind, hat dieses negative Auswirkungen auf unser Wohlbefinden. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird das Konzept des persönlichen Raums untersucht und anschließend ein geeignetes geometrisches Modell entwickelt, welches in ein vorhandenes Animationswerkzeug zur Visualisierung sozialen Handelns integriert wird. Mit Hilfe des erweiterten Animationswerkzeugs sollen zukünftig Szenarien erstellt werden können, die für eine Befragung über adäquates Verhalten von Robotern im Umgang mit dem persönlichen Raum konkretere Aufschlüsse bieten können.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Der soziale Raum	7
2.1	Absoluter Raum	7
2.2	Relativer Raum	8
2.3	Relationaler Raum	9
3	Der persönliche Raum	12
3.1	Distanzen bei Tieren	12
3.2	Distanzen bei Menschen	14
3.3	Graduelle Struktur	16
3.4	Mögliche Veränderungen durch räumliche Strukturen	19
3.5	Anforderungen an das Modell	20
4	Mensch-Roboter-Interaktion und der persönliche Raum	22
4.1	Vermeidung von Konflikten durch Berechtigungen	22
4.2	Vermeidung von Konflikten durch Wegekosten	23
4.3	Anwendungsszenarien für eine Simulation	24
4.4	Anforderungen an das Modell	26
5	Das Modell	27
5.1	Das soziale Objekt	27
5.2	Der soziale Raum	28
5.3	Der persönliche Raum	29
6	Die Umsetzung	40
6.1	Vorstellung des Animationswerkzeugs	40
6.2	Grundobjekte im Modell des Animationswerkzeugs	41
6.3	Tool zur Erstellung eines persönlichen Raums	47
7	Fazit	49
7.1	Ausblick	50
	Literaturverzeichnis	52
	Abkürzungsverzeichnis	55
	Abbildungsverzeichnis	56
	Tabellenverzeichnis	57

1 Einleitung

Jeder Mensch braucht Raum zum Leben. Dieser Raum wird nicht nur durch die Ausmaße unseres Körpers beschrieben, sondern auch durch den Abstand, den wir zu unseren Mitmenschen einhalten, um uns nicht bedrängt zu fühlen. Das Konzept eines persönlichen Raums, der sich bildlich als unsichtbare Hülle um jeden Menschen vorstellen lässt, wurde von Hall [3] maßgeblich mitentwickelt. Der Aufbau dieses Raums lässt sich durch Regionen beschreiben, in denen wir bestimmte soziale Handlungen ausführen und das Betreten einiger von ihnen aus diesem Grund nur engen Vertrauten vorbehalten sein sollte.

Dieses Konzept eines persönlichen Raums findet nicht nur in der Psychologie und Soziologie Beachtung, sondern mittlerweile hält es auch Einzug in die Forschung über die Mensch-Roboter-Interaktion. Roboter, die immer mehr Aufgaben in unserem alltäglichen Leben übernehmen sollen, müssen zwangsläufig auch immer mehr in Interaktion mit dem Menschen treten. Dieses kann zu Konflikten führen, wenn sich ein Roboter nicht adäquat aus der Sicht eines Menschen verhält und ihm beispielsweise zu nahe kommt oder bei dem Ausführen einer Tätigkeit behindert. Ein Ansatz für eine Strategie zur Vermeidung solcher Konflikte, wie ihn Eschenbach und Lindner [18] verfolgen, veranlasst einen Roboter zum respektieren von sozialen Räumen, zu denen auch der persönliche Raum zählt.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, das Konzept des persönlichen Raums zu untersuchen und aus diesen Erkenntnissen heraus ein geeignetes geometrisches Modell zu entwickeln, welches den Anforderungen an die Ausmaße, sowie die strukturellen Gegebenheiten eines persönlichen Raums genüge trägt. Anschließend soll ein Animationswerkzeug zur Visualisierung sozialen Handelns um das neu entwickelte Modell erweitert werden und infolgedessen ein Grundstein für die Integration weiterer Modelle von sozialen Räume gelegt werden. Das Animationswerkzeug wurde innerhalb des Arbeitsbereichs Wissens- und Sprachverarbeitung des Fachbereichs Informatik der Universität Hamburg entwickelt und bietet die Möglichkeit zum Erstellen von Animationsszenen aus einfachen geometrischer Formen. Mithilfe des als Ergebnis dieser Arbeit erweiterten Animationswerkzeugs soll es zukünftig möglich sein, Szenarien aus dem Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion zu erstellen, die für eine Befragung von Probanden über das adäquate Verhalten von Robotern im Umgang mit dem persönlichen Raum dienen sollen. Erkenntnisse aus diesen Befragungen könnten somit Aufschlüsse für die Entwicklung von konkreten Verhaltensmustern für soziale Roboter geben.

Beginnend mit einem Überblick über die historische Entwicklung des Raumbegriffs und seiner Einbettung in einen soziologischen Kontext, wird der persönliche Raum und seine Eigenschaften untersucht, welche für eine Modellierung infrage kommen. Anschließend wird auf die Entstehung von Konflikten in der Mensch-Roboter-Interaktion eingegangen und Beispiele für Strategien zu ihrer Vermeidung aufgezeigt. Mithilfe zweier entwickelter

Anwendungsszenarien für eine Befragung von Probanden über den Umgang von Robotern mit dem persönlichen Raum, werden weitere Objekte zusammengetragen, die es gilt in das Modell zu integrieren. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird ein geometrisches Modell des persönlichen Raums entworfen, welches den zuvor erarbeiteten Anforderungen genügt. Abschließend wird das entwickelte Modell in das Modell des Animationswerkzeugs implementiert und Ansätze für zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten genannt.

2 Der soziale Raum

Die Betrachtung des Raums als Gegenstand soziologischer Untersuchungen spielt lange Zeit in den Gesellschaftswissenschaften eine untergeordnete Rolle [7]. Man betrachtete den Raum als selbstverständliche Gegebenheit oder eine Art allumfassenden Behälter, in dem sich soziale Handlungen abspielen und ohne den kein Mensch existieren könne. Neuere Theorien hingegen versuchen diese Trennung der Betrachtung von Raum und Handeln aufzuheben und lehnen sich an die Annahme, dass Raum durch das soziale Handeln überhaupt erst entsteht.

Im folgenden wird ein kurzer Überblick über die historische Entwicklung des Raumbegriffs gegeben und veranschaulicht, was aus der anfangs sehr einfachen Denkfigur über den Raum noch heute in unserem alltäglichem Verständnis manifestiert ist und wie sich die Theorie über die Soziologie des Raums weiterentwickelt hat.

2.1 Absoluter Raum

In der Antike wird Raum als ein alles existierender umschließender Behälter angesehen, dessen Mittelpunkt die Erde und dessen Grenzen die Fixsterne darstellen.

Im 17. Jahrhundert gerät die Weltanschauung der Erde als Mittelpunkt allen Daseins ins Wanken. Des weiteren beginnt sich die Chirurgie am Menschen zu entwickeln und es kristallisiert sich eine neue Anschauung zu dem menschlichen Körper heraus. Vorher wurde sich der Körper als »offene Quelle der Macht« vorgestellt. Aber durch das Aufschneiden und Erforschen des Inneren beginnt die Sicht auf einen nach innen, sowie nach außen durch die Haut abgeschlossenen Körperraum. Zu dieser Zeit entwirft Isaac Newton den Raum als ein selbstständig existierendes Gebilde:

»Der absolute Raum, der aufgrund seiner Natur ohne Beziehung zu irgendetwas außer ihm existiert, bleibt sich immer gleich und unbeweglich« (Newton 2007 [9], 44, orig. 1687)

Dieser absolute Raum ist unbeweglich bzw. starr und kann eine Vielzahl an materiellen Dingen enthalten, ist aber weiterhin vorhanden, auch wenn er leer ist. Damit sieht Newton Raum und Materie als zwei unterschiedliche Entitäten an. Bewegungen finden ausschließlich innerhalb dieses Raums statt, aber niemals bewegt sich der Raum selbst. Die Ausdehnung dieses eigenständig existenten Behälterraums sieht Newton nicht als begrenzt, sondern als unendlich an. Der absolute Raum ist ein euklidischer Raum und ist somit auch durch die euklidische Geometrie beschreibbar. Soziale Handlungen werden von diesem unveränderlichen Raum nur strukturiert.

Die Sichtweise, man denkt in einem Raum zu leben, wird bereits als Kind geformt. In einer 1975 von Jean Piaget und Bärbel Inhelder durchgeführten Studie »Die Entwicklung des räumlichen Denkens beim Kinde« [1] wurde der Prozess für die Entstehung von Raumverständnis bei Kindern untersucht. Eine Erkenntnis war, dass Kinder ihre Vorstellung über das Räumliche aus Handlungen und elementaren Raumanschauungen (Wahrnehmungen) rekonstruieren.

Ein Beispiel ist der Umgang mit Bauklötzen, deren Form ertastet und bestimmte topologische Relationen, wie die Reihenfolge, das Benachbartsein, die Trennung oder das Umgebensein erkannt werden. Diese Erkenntnisse führen bei einem Kind bereits zu der Bildung einer präreuklidischen Raumvorstellung. Des weiteren wurde angenommen, dass der Raum in der Vorstellung der Kinder sich ständig in konzentrischen Kreisen um ihr Zuhause ausdehnt, da der Aktionsradius sich mit dem Älterwerden kontinuierlich erweitert.

2.2 Relativer Raum

Gottfried Wilhelm Leibniz entgegnete Newtons Raumverständnis vom absoluten Raum:

»Ich habe mehrfach betont, daß ich den Raum ebenso wie die Zeit für etwas rein Relatives halte; für eine Ordnung der Existenzen im Beisammensein, wie die Zeit eine Ordnung des Nacheinander ist« (Leibniz 1966 [6], 134, orig. 1715/1716)

Für ihn ist Raum kein existierender Gegenstand, sondern Raum entsteht einzig und allein durch das Lageverhältnis von Punkten, welche in dem euklidischen Raum als unteilbar gelten und deren Ordnung. Das bedeutet, der zuvor absolut beschriebene Bezug auf das Lokalisieren von Dingen an einem Ort, wird nun zu einer Lokalisation in Relation zu der Lokalisation anderer Dinge.

Aus dieser Anschauung entsteht zwangsläufig durch die Vielzahl an Betrachtungsweisen einer Sache das Einbeziehen von Perspektivenvielfalt. Eine präperspektivische Raumvorstellung wird auch von Kindern laut der Studie von Jean Piaget und Bärbel Inhelder [1] festgestellt, welche sich in ihrem euklidischem Raumverständnis weiterentwickelt.

Immanuel Kant beschreibt Raum als etwas, das durch die menschliche Vorstellung geschaffen wird:

»Der Raum ist bloß die Form der äußeren Anschauung, aber kein wirklicher Gegenstand, der äußerlich angeschaut werden kann, und kein Correlatum der Erscheinungen, sondern die Form der Erscheinungen selbst. Der Raum also kann absolut (für sich allein) nicht als etwas Bestimmendes in dem Dasein der Dinge vorkommen, weil er gar kein Gegenstand ist, sondern nur die Form möglicher Gegenstände« (Kant 1986 [5], 517, orig. 1781)

Im 19. Jahrhundert wird in der Mathematik die einzig zuvor denkbare euklidische Geometrie in ihrer Alleinstellung hinterfragt und bewiesen, dass auch nicht-euklidische Geometrien konsistent sind. Diese Tatsache veränderte ebenfalls die Anschauung vom Raum, der bisher ausschließlich als rein euklidischer Raum definiert war.

Albert Einstein sorgte mit seiner Relativitätstheorie für eine alternative Sichtweise zu dem absoluten Raum. Laut ihm sind Raum und Zeit nicht mehr absolut, dass heißt in jedem System gleichbleibend, sondern relativ zum Bezugssystem des Beobachters. Somit ist auch die Anordnung der Körper zu dem Bezugssystem abhängig und Bewegungen immer räumlich und zeitlich zugleich.

Dass Räume nicht mehr als starr angesehen werden können, sondern als relative Räume sich selbst über die Zeit bewegen müssen, bringt auch Norbert Elias zum Ausdruck:

»Jede Veränderung im ›Raum‹ ist eine Veränderung in der ›Zeit‹, jede Veränderung in der ›Zeit‹ ist eine Veränderung im ›Raum‹. Man lasse sich nicht durch die Annahme irreführen, man könne ›im Raum‹ sitsitzen, während ›die Zeit‹ vergeht: man selbst ist es, der dabei älter wird. Das eigene Herz schlägt, man atmet, man verdaut; die eigenen Zellen wachsen und sterben ab. Die Veränderung mag langsam sein, aber man verändert sich kontinuierlich ›in Raum und Zeit‹ - als ein Mensch, der älter und älter wird, als Teil einer sich verändernden Gesellschaft, als Bewohner der sich rastlos bewegenden Erde« (Elias 1984 [2], 74f)

Zusammenfassend kann einem relativem Raum die Eigenschaft zugeordnet werden, dass er keine eigene Realität besitzt, sondern erst durch die Anordnung von Körpern, die sich bewegen, entsteht.

2.3 Relationaler Raum

In ihrem Werk »Raumsoziologie« [8] versucht Martina Löw soziale Handlungen stärker in das wissenschaftliche Raumbild einzuarbeiten und kommt zu dem Schluss, dass die Konstitution von Raum selbst ein sozialer Prozess sein muss. Um diese Anschauung theoretisch beschreibbar zu machen, entwickelte sie den Begriff des relationalen Raums.

Löw streitet die Existenz der zuvor beschriebenen Raummodelle nicht ab, sondern schreibt ihnen Mängel über die Mächtigkeit ihrer Beschreibungskraft im soziologischen Kontext zu. Zum Beispiel passen Sinneswahrnehmungen, wie das Sehen von Farben, das Riechen von Düften oder das Hören von Geräuschen nicht in den euklidischen Raum und deshalb sagt sie über den absoluten Raum:

»Eine nur absolutistische Argumentation, so zeigt die Analyse, kann die Herausbildung unterschiedlicher Räume am gleichen Ort, die Bewegtheit räumlicher Anordnungen und Ableitung von Raum aus dem Handeln nicht erfassen.« (Löw 2001 [8], 112)

Der relative Raum, auf dem ihr neuer Raumbegriff zwar aufbaut, ist aber in der Ursprungsform ebenfalls nicht umfassend genug:

»Eine relativistische Annahme dagegen, die Raum aus der Anordnung der Objekte schlußfolgert, kann [...] in einer Weise formuliert werden, daß nicht nur die neue Formation der Organisation von Räumen, sondern auch die Herausbildung von Territorien und Orten sowie die Räumen zugrundeliegende Konstruktionsarbeit erfasst wird. Dies setzt jedoch voraus, und damit überschreite ich die Vorannahmen vieler relativistischer Konzeptionen,

dass nicht nur die Beziehungen, sondern auch die verknüpften Objekte betrachtet werden.« (Löw 2001 [8], 112)

Weitere Gründe für den Entwurf eines relationalen Raumbegriffs sind gesellschaftliche Veränderungen, die mit dem Raum als ein homogenes Phänomen nicht mehr vereinbar sind. Die zuvor angesprochene Entwicklung des Raumverständnisses bei Kindern, welches sich stetig durch einen immer größer werdenden Raum um einen Mittelpunkt herum bildet, ist in der heutigen Zeit nicht mehr angemessen. Löw spricht von einer »verinselten Vergesellschaftung«, in der es gilt, aus vielen kleinen Räumen einen homogenen Raum zu bilden.

Verdeutlicht wird dieses zum Beispiel durch das Aufwachsen von Kindern heutzutage in für sie bestimmten Institutionen, wie Kindergärten oder Sportvereinen, zu denen Kinder von ihren Eltern mit dem Auto hingebacht und wieder abgeholt werden. Somit entstehen viele kleine Inseln von Räumen, die nur durch Verbindungen (Straßen) in Relation gestellt werden und zusammengekommen den Lebensraum bilden. Dieser Lebensraum erweitert sich, indem weitere Inselräume hinzukommen.

Die technologische Entwicklung in eine Informationsgesellschaft und die Globalisierung tragen ebenfalls zu einem neuen Raumverständnis bei. Dazu gehört das Telefonieren, bei dem man mit einer Person ohne große Zeitverzögerung sprechen kann, die sich an einem weit entfernten Ort befindet oder das Fernsehen, mit dessen Hilfe man verschiedenste Orte der Welt in seinem Wohnzimmer betrachtet. Diese sozialen Prozesse führen zu der Bildung von Relationen zwischen Räumen, die wiederum einen eigenen Raum erschaffen.

Durch das Erschaffen von virtuellen Räumen ist es nicht nur möglich mehrere Räume an einem Ort zu lokalisieren, sondern zum Beispiel mittels eines *Head-Mounted Display (HMD)* und einem Anzug, der die Bewegungen erfasst, in zwei Räumen gleichzeitig zu Handeln. Rennfahrer fahren vor einem Grand Prix Teststrecken in einem Simulator oder ein Chirurg in New York steuert über das Internet einen Roboter, der einen Patienten in einem Krankenhaus in Hamburg an dem offenen Herzen operiert. Dieses Schaffen von neuen nicht physisch vorhandenen Räumen durch soziale Prozesse und den Relationen zwischen diesen Räumen bildet einen neuen sozialen Raumbegriff.

Sogar das Verständnis von Menschen über ihren Körper wird dieser Anschauung angepasst. Der Körper wird nicht mehr als abgeschlossener Körper gesehen, sondern als ein Netzwerk von in Relation stehenden Räumen (zum Beispiel Organe oder Zellen, die selbständig Handeln).

Löws Kernthese über den relationalen Raum lautet:

»Raum ist eine relationale (An)Ordnung von Lebewesen und sozialen Gütern an Orten. Raum wird konstituiert durch zwei analytisch zu unterscheidende Prozesse, das Spacing und die Syntheseleistung.« (Löw 2001 [8], 271)

Die Schreibweise »(An)Ordnung« wird dabei bewusst gewählt, um zu verdeutlichen, dass Raum eine Ordnungsdimension (die Ordnung der Körper), sowie eine Handlungsdimension (das Anordnen der Körper) besitzt. Soziale Güter sind in primär materielle Güter, wie zum Beispiel einen Schrank oder Tisch, und in primär symbolische Güter, die zum Beispiel durch Werte oder Lieder beschrieben werden können, unterteilt. Die Konstitution von

Raum beschreibt Löw einerseits durch den Prozess Spacing, der dem Errichten, Bauen oder Positionieren von Gütern oder Menschen gleichkommt, und dem Prozess Syntheseleistung, der das Zusammenfassen von Räumen durch Wahrnehmung, Vorstellung oder Erinnerung bedeutet. Diese Wechselwirkungen zwischen sozialem Handeln und Strukturen, die Raum entstehen lassen, werden durch unterschiedliche Einflussfaktoren und Gegebenheiten beeinflusst, von denen nachfolgend einige kurz zusammengefasst werden.

Ein Faktor ist der sich ständig wiederholende Alltag, der bestimmte Handlungen eingeübt ablaufen lässt. Aber auch die Abweichung von dem Gewohnten führt zu einer veränderten Raumbildung. Räumliche Strukturen ermöglichen das Handeln einerseits, aber beschränken es auch andererseits. Als Beispiel sei ein Konzertsaal genannt, in dem klar strukturiert ist, wo man als Zuhörer zu stehen bzw. zu sitzen hat und es ist gesellschaftlich ausgeschlossen, dass man auf der Bühne Platz nimmt. Weitere Einflussfaktoren sind das Geschlecht, die Klasse oder Ungleichheiten in der Gesellschaft. Man kann nur Räume erschaffen, wenn man auch über die nötigen Ressourcen und Rechte verfügt. Die Lokalisation der Räume an Orten, sowie die Wahrnehmung von Atmosphären sind ebenfalls raumbildende Eigenschaften. Obwohl ein Bereich nicht physisch abgetrennt ist, nehmen wir wahr, wann ein Raum aufzuhören scheint.

3 Der persönliche Raum

»The general failure to grasp the significance of the many elements that contribute to man's sense of space may be due to two mistaken notions: (1) that for every effect there is a single and identifiable cause; and (2) that man's boundary begins and ends whith his skin« (Hall 1990 [3], 115)

Die Ansicht, dass ein Mensch zum Leben ausschließlich den Platz im Raum braucht, den sein Körper einnimmt, ist spätestens seit den Untersuchungen von Edward T. Hall [3] widerlegt. Die Schlussfolgerung daraus ist es, dass um den Körper eines jeden Lebewesens eine Art unsichtbare Hülle existiert, die den persönlichen Raum darstellt. Das Eindringen anderer Lebewesen in diesen Raum kann weitreichende Folgen für das eigene Wohlbefinden nach sich ziehen, oder sogar existenzgefährdende Ausmaße annehmen. Aus diesem Grund zählt der persönliche Raum zu einer sehr wichtigen Art von sozialen Räumen.

Nachfolgend werden Erkenntnisse über die geometrischen Ausmaße und den Aufbau eines persönlichen Raums zusammengetragen, sowie Einflussfaktoren genannt, die diesen Raum in seinem Erscheinungsbild beeinflussen können.

3.1 Distanzen bei Tieren

Untersuchungen im Tierreich haben ergeben, dass es neben einem ortsgebundenen Raum, dem Territorium, welches viele Tiere für sich einnehmen und verteidigen, auch noch weitere Räume um ein Tier herum gibt, die das Verhalten im Umgang mit fremden Lebewesen, aber auch mit Vertrauten der eigenen Spezies regeln.

Neben dem Verhalten, regeln Räume auch die Population von Tieren innerhalb eines Gebiets. Sollten durch eine übermäßige Anzahl von Artgenossen bestimmte Raumansprüche zu oft verletzt werden, kann der ausgelöste Stress bei den Tieren eine geringere Lebenserwartung hervorrufen. Der Stress verursacht die Entstehung körperlicher Fehlentwicklungen, wie ein minderwertiges Immunsystem oder eine kleinere Körperstatur, was eine Regulierung der Population auf eine austarierte Tieranzahl zur Folge hat.

Der Zoologe Heini Hediger hat in seinem Buch »Beobachtungen zur Tierpsychologie im Zoo und im Zirkus« [4] verschiedene Distanzen herausgearbeitet, die für das soziale Verhalten von Tieren von Bedeutung sind. Diese Erkenntnisse über die Existenz solcher Distanzen, die die Ausmaße von Räumen um Tiere herum beschreiben können, spielten auch für die Entwicklung von Distanzen des persönlichen Raums beim Menschen eine wesentliche Rolle.

Fluchtdistanz

Viele Tiere flüchten, wenn man ihnen als Fremder zu nahe kommt. Das überschreiten einer bestimmten Grenze veranlasst ein Verhalten, dass vor Raubtieren oder Jägern schützt und somit das Überleben sichert. Die Distanz vom Tier bis zu dieser Grenze hängt einerseits von der Persönlichkeit des Tieres ab und andererseits von der Größe. Ein schreckhaftes Reh flieht bei der Annäherung eines Menschen, auch wenn er noch hunderte von Metern entfernt ist. Ein Fliege, die man versucht zu fangen, flieht erst, wenn man bis auf wenige Zentimeter an sie herangetreten ist.

Kritische Distanz

Die Entfernung, bei der ein Tier einen Fremden angreift, anstatt zu fliehen, nennt sich kritische Distanz. Hier spielt ebenfalls die Persönlichkeit des Tieres eine Rolle, dass heißt, ist der Eindringling aus Sicht des Tieres schwächer und das Tier angriffslustig, wird der Fremde angegriffen. Will ein Tier fliehen, ist aber keine Fluchtweg vorhanden, bleibt keine andere Wahl, als sich zu verteidigen. Diese Distanz kann sich über die Zeit verändern, zum Beispiel sind viele Tiere in der Paarungszeit angriffslustiger, also zur übrigen Zeit.

Persönliche Distanz

Die persönliche Distanz wird als Entfernung beschrieben, die Tiere zu ihren Artgenossen einhalten. Diese fällt von Art zu Art sehr unterschiedlich aus. Es gibt Tiere, die sehr kontaktfreudig sind und im Rudel eng, teils mit Hautkontakt, aneinander zusammenliegen. Auf der anderen Seite aber auch Arten, die sich außerhalb der Paarungszeit überhaupt nicht berühren. Unterschiedliche persönliche Distanzen innerhalb einer Art gibt es zum Beispiel zwischen männlichen und weiblichen Tieren, sowie zwischen Tieren mit unterschiedlichem Rang innerhalb der Gruppe. Ein dominanter Hirsch liegt zum Beispiel immer etwas außerhalb der Gruppe und auch die Mitglieder halten zu ihm einen größeren Abstand, als zu anderen Artgenossen.

Soziale Distanz

Tiere, die in einer Gruppe leben, haben eine Art unsichtbare Verbindung zu ihren Gruppenmitgliedern. Das heißt, sie spüren ihre Gruppe teilweise über weite Entfernungen und finden dadurch immer wieder zurück zu ihr. Die soziale Distanz ist die maximale Entfernung, die sich Mitglieder einer Gruppe entfernen, ohne die Verbindung zu ihr zu verlieren. Diese Distanz verändert sich zum Beispiel beim Älterwerden der Tiere. Gerade Neugeborene verlieren den Kontakt zu ihrer Gruppe bei einer wesentlich geringeren Distanz, als bereits erwachsene Tiere.

3.2 Distanzen bei Menschen

Abgeleitet von den zuvor beschriebenen Distanzen, die für die Tierwelt gelten, hat Edward T. Hall in seinem Werk »The Hidden Dimension« [3] ein Modell für einen persönlichen Raum entwickelt, welches das Raumgefühl des Menschen beschreibt und in Zonen aufgeteilt ist, in denen bestimmte soziale Handlungen ausgeführt werden. Auch der Mensch besitzt somit unsichtbare »Luftblasen«, die seinen Körper umgeben und auch er reagiert mit Stress, Abneigung oder sogar aggressivem Verhalten, auf ein unbefugtes Betreten von Zonen. Der bei Tieren beschriebene Stress durch Überpopulation entsteht also ebenso beim Menschen und wird in der Massenpsychologie als Crowding-Phänomen bezeichnet.

Hall entwickelt in diesem Zusammenhang den Begriff »Proxemik« unter dem soziologische Untersuchungen über den Gebrauch von Raum, sowie die Studien über individuelle Distanzen in verschiedenen Kulturen zusammengefasst werden. Begründet hat er seine Einteilung einerseits mit dem Wahrnehmen von Raum durch die verschiedenen Sinne des Menschen. Das heißt, das Wahrnehmen von Distanzen durch das Sehen, Hören und Riechen und das unmittelbare Empfinden von Druck, sowie das Empfinden von Temperaturunterschieden mittels der Haut und der Muskeln. Andererseits durch das Untersuchen vom menschlichen sozialen Verhalten innerhalb räumlicher Strukturen. Dazu bedient er sich unter anderem auch Ergebnissen aus den Studien von Robert Sommer [12], der das Konversationsverhalten von an verschiedenartigen Tischen sitzenden Personen untersuchte und die Häufigkeit ihrer Interaktionen in Abhängigkeit ihrer Sitzpositionen zueinander an einem Tisch feststellte.

Die genauen Distanzen, die Hall für die einzelnen Zonen eines persönlichen Raums definiert, sind aus der Befragung von nordamerikanischen Probanden entstanden und können somit nur für diesen Kulturbereich als Anhaltspunkt gelten. Daraus ergaben sich vier unterschiedliche Regionen und zwar die intime, persönliche, soziale und öffentliche Zone. Für eine noch differenziertere Unterteilung wurden die vier entwickelten Distanzzonen noch einmal in einen nahen und fernen Bereich abgegrenzt. Nachfolgend werden die vier Hauptzonen mit den dazugehörigen Distanzen kurz erläutert.

Intime Zone

Nah (*Distanz* : $[0; 0,15)$ m)

Diese Region bezeichnet den direkten oder beinahe Kontakt mit dem Körper. Man nimmt Wärmeunterscheide und Gerüche sehr stark wahr. Diese Zone ist reserviert für den Lebenspartner, eigene Kinder, das Haustier oder aber auch einen Kampfgegner beim Ringen.

Fern (*Distanz* : $[0,15; 0,45)$ m)

Die ferne intime Zone bezeichnen viele Probanden als zu nah für eine Unterhaltung und wird als zugehörig zu seinem eigenen Körper zählend empfunden. Es ist nur den engsten Freunden und Familienmitgliedern vorbehalten in diesen Bereich einzudringen. Man sieht auf diese Entfernung sehr klar Poren der Haut und kleine Hautunebenheiten seines Gegenübers.

Perönliche Zone

Nah (*Distanz* : $[0, 45; 0, 75) \text{ m}$)

Eine Person stellt sich in die nahe persönliche Zone eines Mitmenschen, um seine Zugehörigkeit zu ihm zu signalisieren. Zum Beispiel könnte dieses Verhalten bei dem Wählen von Teams im Sport mit der Zugehörigkeit zu einem Team veranschaulicht werden oder eine Frau, die signalisiert, zu welchem Mann sie sich hingezogen fühlt.

Fern (*Distanz* : $[0, 75; 1, 2) \text{ m}$)

In dieser Region hält sich jemand auf, wenn er sich eine Armlänge entfernt von seinem Gegenüber aufhält. Man hat nicht mehr die Möglichkeiten des Berührens ohne sich bewegen zu müssen und stellt den normalen Abstand dar, in dem sich nicht-kontaktfreudige Menschen ohne bestimmte Absichten nebeneinander aufstellen würden.

Soziale Zone

Nah (*Distanz* : $[1, 2; 2, 1) \text{ m}$)

Das unpersönliche Zusammenarbeiten in der Geschäftswelt findet in der nahen sozialen Zone statt oder aber auch das zufällige Zusammentreffen von Personen. Im Sichtfeld befindet sich der Oberkörper des Gegenübers.

Fern (*Distanz* : $[2, 1; 3, 6) \text{ m}$)

In der fernen sozialen Zone ist der komplette Körper seiner Mitmenschen zu sehen. Zum Beispiel entspricht dieses dem Abstand zwischen demjenigen, der hinter einem Schreibtisch sitzt und einem Besucher, der vor dem Schreibtisch Platz nimmt.

Öffentliche Zone

Nah (*Distanz* : $[3, 6; 7, 6) \text{ m}$)

Ab einer Distanz von 3,6 Metern fühlen sich die meisten Menschen nicht mehr unwohl, wenn ihnen eine fremde Person begegnet. Man fühlt sich eher in der Rolle des Zuschauers, anstatt einer involvierten Person. Die Sicht auf Personen wird gröber und man kann weniger Details erkennen.

Fern (*Distanz* : $[7, 6; \infty) \text{ m}$)

Alles, was außerhalb der nahen öffentlichen Zone stattfindet, wird als ferne öffentliche Zone bezeichnet. Die Grenze dieses Bereichs ist die Grenze des wahrnehmbaren Raums durch die Sinne.

3.3 Graduelle Struktur

Anhand der von Hall herausgearbeiteten Distanzen ist es nun möglich, den persönlichen Raum als eine graduelle Struktur darzustellen. Dabei bildet der Mensch den Mittelpunkt, von dem ausgehend konzentrische Ringe die einzelnen Zonen repräsentieren. Der Tatsache geschuldet, dass ein Modell von dem persönlichen Raum in ein 2D Animationswerkzeug integriert werden soll, wird hier ausschließlich ein Querschnitt der eigentlich dreidimensionalen Sphären um den Körper betrachtet. Die Radien der Ringe werden vorerst als gleichbleibend in jede Richtung angenommen, um eine vereinfachte Darstellung zu erhalten und somit das Augenmerk auf die Struktur richten zu können. Der äußere Radius der einzelnen Zonen berechnet sich aus dem maximalen Distanzwert der jeweiligen Zone, der innere Radius aus dem minimalen Distanzwert. Der innere Radius der intimen Zone wird dabei als 0 angenommen und somit beinhaltet die nahe intime Zone den Menschen. Die ferne öffentliche Zone findet in dieser Struktur keine Beachtung, da sie als alles, was außerhalb der Struktur liegt, betrachtet werden kann. Der Grad der Intimität der einzelnen Zonen nimmt zu, je näher sie sich an dem Menschen befindet. Das heißt, in der graduellen Struktur besitzt die nahe intime die höchste Intimität und die nahe öffentliche Zone die geringste.

Die Abbildung 3.1 zeigt die fertige Struktur des gesamten persönlichen Raums. An ihr ist sehr gut zu erkennen, welches Verhältnis die einzelnen Zonen zueinander haben. Die Tatsache, dass zum Beispiel die Fläche der persönlichen Zone um ein Vielfaches kleiner ist, als die der sozialen oder öffentlichen Zone, spiegelt das grundlegende Muster des persönlichen Raums für einen Nordamerikaner in Halls Befragungen wieder.

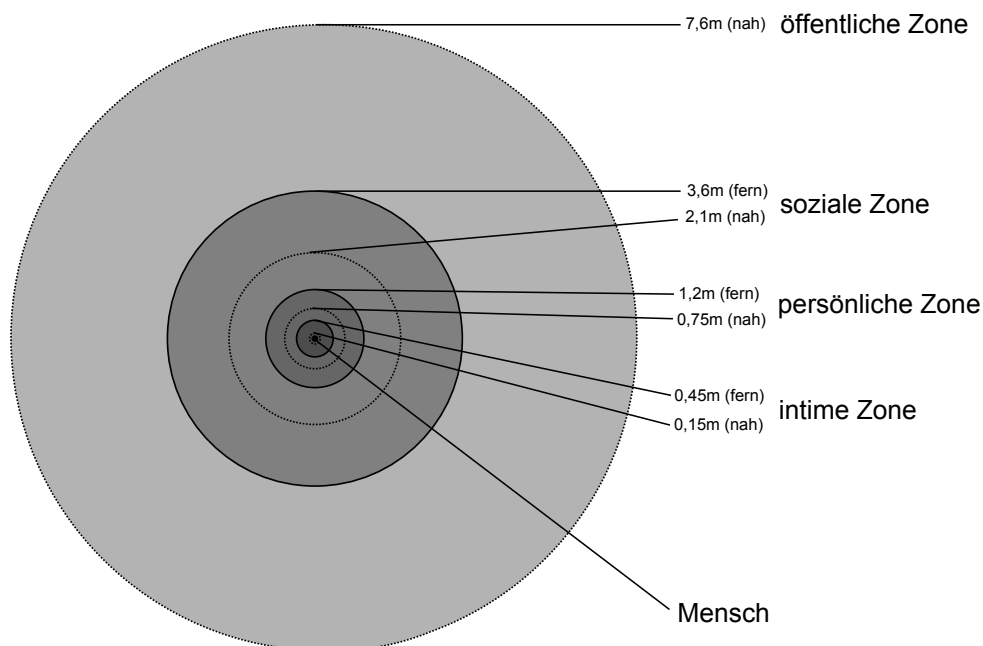


Abbildung 3.1 – Verhältnis der Ausdehnung der Zonen im persönlichen Raum nach den Distanzen von Hall

Die Bestimmung der Ringflächen, wie in Abbildung 3.2 dargestellt, kann ausgehend von der Kreisfläche der nahen intimen Zone folgendermaßen beschrieben werden. Dabei steht K für Kreisfläche und R für Ringfläche.

$$\begin{array}{ll} \text{RIZfern} = \text{KIZfern} - \text{KIZnah} & \text{RSZnah} = \text{KSZnah} - \text{KPZfern} \\ \text{RPZnah} = \text{KPZnah} - \text{KIZfern} & \text{RSZfern} = \text{KSZfern} - \text{KSZnah} \\ \text{RPZfern} = \text{KPZfern} - \text{KPZnah} & \text{RÖZnah} = \text{KÖZnah} - \text{KSZfern} \end{array}$$

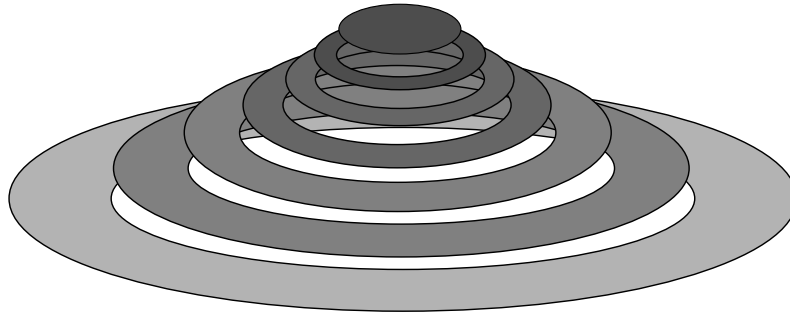


Abbildung 3.2 – Zonen als Ringflächen

3.3.1 Abweichungen von der Grundstruktur

Die zuvor dargestellte graduelle Grundstruktur mit 7 Distanzzonen ist keineswegs für alle Menschen in sämtlichen Regionen der Welt verbindlich. Sie ist auch nicht für alle Nordamerikaner repräsentativ. Es existieren eine Vielzahl von verschiedenen individuellen Einflussfaktoren eines jeden Menschen in seinem Wahrnehmen von Raum, die die Konstitution seines eigenen persönlichen Raums beeinflussen. Nachfolgend werden zur Wahrung der Übersicht nur noch die 4 Hauptzonen ohne nahe und fernen Unterteilung dargestellt, wobei die öffentliche Zone nur aus dem nahen Bereich besteht.

Die Abbildung 3.3 (a) zeigt einen persönlichen Raum, der abweichende Distanzen für die Radien der einzelnen Zonen besitzt. Hall [3] hat in seinen Untersuchungen zu Proxemiken verschiedener Kulturbereiche ein unterschiedliches Verhältnis zum Wahrnehmen bestimmter Zonen festgestellt und daraus resultieren auch unterschiedliche Distanzen. Zum Beispiel stellt er fest, dass Südeuropäer eine geringe persönliche Distanz besitzen und nähern sich ihrem Gegenüber mehr als Nordamerikaner. Die japanische Kultur geht mit der Privatsphäre anders um, als die Europäer. In der arabischen Welt kennt man das Eindringen in die öffentliche Zone nicht. Somit kann der persönliche Raum auch eine unterschiedliche Anzahl an Zonen haben, wie die Abbildung 3.3 (b) einen Raum ohne öffentliche Zone zeigt. Neben dem kulturellen Hintergrund spielen in den Proxemiken auch Persönlichkeitseigenschaften und Geschlechtsmerkmale für die Bildung des eigenen Raums eine Rolle.

Körpermerkmale, wie die Größe und der Umfang sind zwar für das Verhältnis zwischen den Flächen untereinander eher unwichtig, betreffen aber, wenn auch nur in kleinem Maße den Gesamtradius. Jemanden auf Armlänge aus seiner privaten Zone herauszuhalten ist bei unterschiedlichen Armlängen auch ein variierender Distanzwert.

In einer Studie von Daniel Kennedy et al. wird angenommen, dass die Amygdala im Gehirn des Menschen für das Unwohlbefinden im Zusammenhang mit dem Betreten von Fremden in den persönlichen Raum verantwortlich ist [17]. Bei Experimenten mit einer Person, die eine beidseitige funktionsuntüchtige Amygdala besaß, wurde festgestellt, dass sie wesentlich später das Betreten ihres Raums als unangenehm empfand, als alle anderen getesteten Personen. Dieses Gegebenheit kann wiederum völlig individuelle Distanzen unabhängig von dem kulturellen Hintergrund für die Zonen des persönlichen Raums einer Person bedeuten.

Eine weitere Ursache für die Veränderung von Distanzen sind die zu einem Zeitpunkt ausgeführten Aktivität. Ein Mensch der sitzt fühlt sich beispielsweise unwohler, wenn eine fremde Person sich neben ihn stellt, als wenn er stehen würde [22]. Das Anstehen in einer Warteschlange, verlangt das Nähern an die Person am Ende der Schlange, um die Zugehörigkeit zu der Schlange zu signalisieren [19]. Zu den Aktivitäten zählt ebenfalls das Interagieren mit anderen Menschen. Möchte man jemanden mit Händedruck begrüßen, muss man ihn mindestens bis auf die Armlänge an sich herankommen lassen. Fährt man als Beifahrer auf einem Motorrad, ist es unumgänglich, Körperkontakt mit dem Fahrer zu haben.

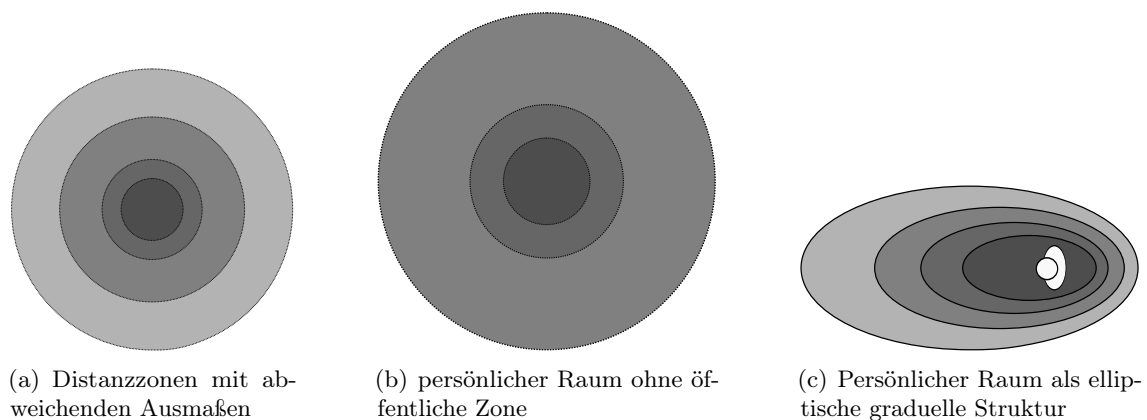


Abbildung 3.3 – Variationen des graduellen Aufbaus des persönlichen Raums

3.3.2 Grundform der Zonen

Die Form der Distanzzonen in der graduellen Struktur wurden im vorigen Abschnitt als Kreis angenommen. Neuere wissenschaftliche Untersuchungen [14] [19] haben ergeben, dass die Wahrnehmung von Raum nicht in alle Richtungen des menschlichen Körpers in gleichem Ausmaße gegeben sind. Heutzutage wird also eher von einem Durchschnitt des persönlichen Raums in Form von einer Ellipse oder eines Ovals ausgegangen, wobei sich der Körper nicht mehr im Mittelpunkt befindet, sondern ein Großteil des Raums sich vor der Vorderseite in Blickrichtung ausbreitet. Die Abbildung 3.3 (c) demonstriert die Konstitution der graduellen Struktur als Ellipse.

3.4 Mögliche Veränderungen durch räumliche Strukturen

Nachdem die Grundform des persönlichen Raums sich als eher elliptisch herausgestellt hat und die Konstitution der graduellen Struktur erläutert wurden, gilt es nun einen Blick auf die Reaktion des Raums auf feste räumliche Strukturen zu werfen. Löw [8] erläutert, dass soziale Räume durch räumliche Strukturen begrenzt werden können. Daraus ließe sich ableiten, dass auch der persönliche Raum als eine Art der sozialen Räume durch Strukturen begrenzt werden kann. Das Wahrnehmungsfeld eines Menschen wird zum Beispiel durch massive Wände eingeschränkt, indem er nicht hindurchsehen kann. Das bedeutet, dass auch die Ausdehnung des persönlichen Raums einer Person, die vor einer Wand steht, durch die Wand begrenzt sein muss und sich somit hinter der Wand kein Teil des persönlichen Raums mehr befindet. Die Abbildungen 3.4 zeigen zwei verschiedene Denkmodelle, wie sich einerseits die äußere Form und andererseits die interne graduelle Struktur des persönlichen Raums bei dem Nähern einer Wand verändern könnten. Eine genaue Bestimmung, welches Modell der Realität am nächsten kommt, ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich und damit durch die Empirie zu ermitteln.

Ein Ansatz wäre es, dass die äußerste Zone durch die Wand abgeschnitten wird. Das hätte zur Folge, dass (a) sich vor der Person keine öffentliche Zone mehr befindet und bei weiterem Herantreten (b) auch keine soziale Zone vor der Wand vorhanden wäre. Ein Fahrstuhl, der zu allen Seiten eng durch Wände begrenzt ist, würde nach diesem Modell also keinen Platz für Aktionen zwischen Fahrgästen bieten, die normalerweise in der sozialen Zone stattfinden würden. Stattdessen müsste zum Beispiel ein Gespräch mit fremden Personen innerhalb der persönlichen Zone vonstattengehen.

Der zweite Ansatz wäre, dass sich nicht nur die Form der äußeren Distanzzonen verändert, sondern proportional dazu auch alle in ihr enthaltenen. Bei einer Bewegung in Richtung der Wand würde sich also die komplette Struktur stauchen. Somit wäre eine gleichbleibende Form aller Zonen gewährleistet, was in (c) und (d) zu sehen ist. Der Umgang mit Personen auf engem Raum würde aus diesem Grund nicht ausschließlich in die private und intime Zone fallen. Man könnte damit argumentieren, dass der Mensch sich seiner Umgebung anpasst und darauf vorbereitet ist, dass anderen Menschen, dem Platzmangel geschuldet, näher an ihn herantreten.

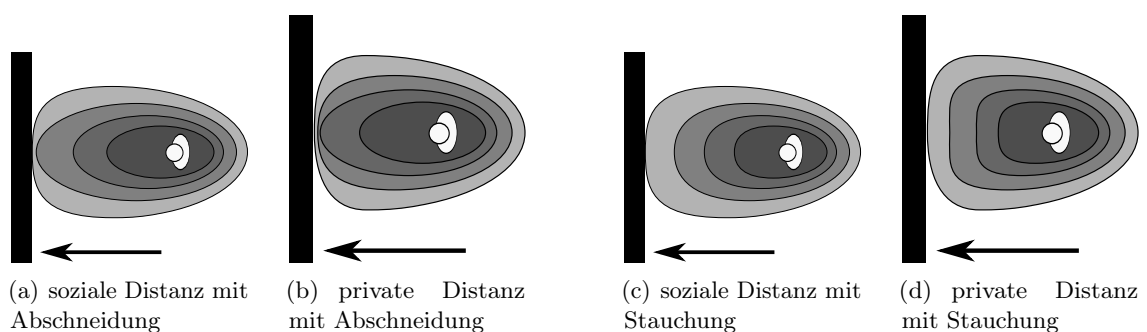


Abbildung 3.4 – Veränderung des persönlichen Raums bei Bewegung in Wandrichtung

Neben großflächigen Einschränkungen, wie Wände, die auf komplette Seiten des persönlichen Raums Einfluss nehmen, gibt es auch kleinere Strukturen, die den Wahrnehmungsraum kleinflächig verformen können. Dazu zählen zum Beispiel Schränke oder Säulen. Die Abbildung 3.5 (a) zeigt eine Person, die in der Nähe eines Schrankes steht. Hierdurch würde folgende Fläche als neuer persönlicher Raum entstehen. Die interne Struktur sei bei dieser Anschauung vorerst vernachlässigbar. Das Kürzel F steht dabei für Fläche:

$$\text{NeueFPR} := \text{FPR} - (\text{FSchrank} \cap \text{FPR})$$

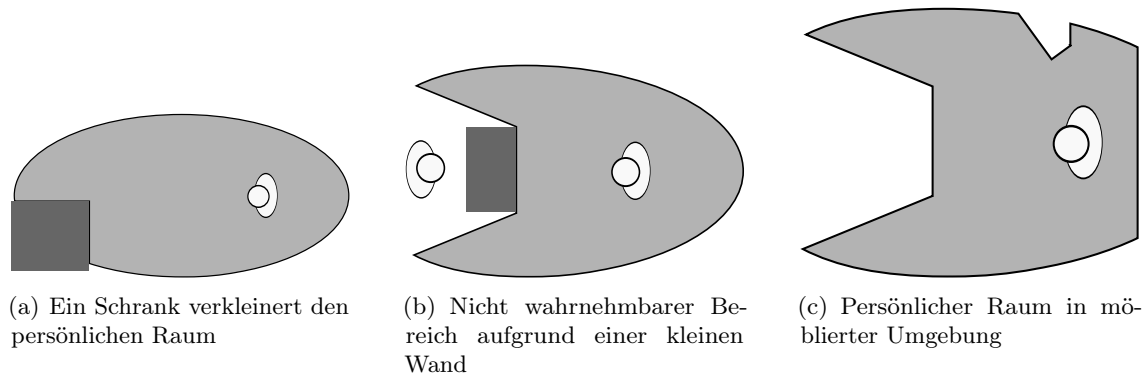


Abbildung 3.5 – Veränderung des persönlichen Raums in möbliertem Zimmer

Säulen oder kleinere Wände, die sich innerhalb des persönlichen Raums einer Person befinden, reduzieren ihn nicht nur um ihre eigene Fläche, sondern ebenfalls um einen für die Person nicht mehr wahrnehmbaren Bereich. Dabei ist zu beachten, dass sich der Raum vom Mittelpunkt der Person ausbreitet. Das heißt, es könnte hinter einer Säule ein Mensch stehen und von der davor stehenden Person nicht bemerkt werden. Die Abbildung 3.5 (b) zeigt ein solches Szenario, nachdem die Flächenbestimmung wie folgt ausfiele:

$$\text{NeueFPR} := \text{FPR} - (\text{FPR} \cap (\text{FSäule} \cup \text{FNichtWahrnehmbar}))$$

Aus einer Vielzahl von Kombinationen der beiden genannten Einschnidungsmöglichkeiten entsteht in alltäglichen Situationen unserer voll möblierten Zimmer eine starke Verformung des persönlichen Raums, wie es Abbildung 3.5 (c) mit ausgeblendeten Möbelstücken veranschaulicht.

3.5 Anforderungen an das Modell

Für die Modellierung des persönlichen Raums innerhalb des Animationswerkzeugs bedarf es eines flexiblen geometrischen Modells, welches den zuvor behandelten Aufbau und seine Veränderungen darstellen kann.

Dazu zählt die Konstruktion einer graduellen Struktur, welche den Grad der Intimität der Zonen widerspiegelt, mit einer gegebenen Anzahl an Zonen. Hierbei muss die Anzahl der Zonen variabel sein, um zum Beispiel die Darstellung des persönlichen Raums aus verschiedenen Kulturbereichen ermöglichen zu können.

Die Zonen müssen jeweils durch die gegebenen Distanzwerte konstruiert werden können. Eine Zone muss zusätzlich eine elliptische oder ovale Form besitzen, wobei bisher nur geklärt ist, dass der Distanzwert die Ausdehnung der Zone in Blickrichtung des ihr zugehörigen Menschen entspricht.

Außerdem muss das Modell des persönlichen Raums in der Lage sein sich, wie in Abschnitt 3.4 beschrieben, verformen zu lassen, wobei es ebenfalls wünschenswert ist, beide genannten Denkmodelle für die Veränderung der internen Struktur zur Verfügung zu stellen.

4 Mensch-Roboter-Interaktion und der persönliche Raum

Bis hierhin wurde der persönliche Raum ausschließlich als auftretendes Phänomen bei der zwischenmenschlichen Interaktion betrachtet. Im Zuge der heutzutage verfügbaren technischen Mittel wird auf der einen Seite in der Mensch-Computer-Interaktion, insbesondere in der Entwicklung von virtuellen Realitäten, die Möglichkeit zur Unterscheidung zur realen Welt immer kleiner. Im Zuge dessen wurde nachgewiesen, dass auch der persönliche Raum im Umgang mit Medien eine Rolle spielt. So fühlen sich Probanden bei dem Betrachten von stereoskopischen 3D Bildern unwohl, wenn diese ihnen zu nah erscheinen [25]. Auch in Computerspielen wurde untersucht, dass Menschen mit ihren Avataren bestimmte Distanzen während einer Interaktion mit anderen virtuellen Mitspielern einhalten [26],[15].

Auf der anderen Seite bietet auch die Robotertechnik mittlerweile eine starke Annäherung an menschlich wirkende und eigenständig handelnde Roboter. Aus diesem Grund hält das Konzept des persönlichen Raums auch Einzug in die Mensch-Roboter-Interaktion, da von einem Roboter erwartet wird, dass auch er für Interaktionen mit dem Menschen bestimmte Distanzen einhalten sollte [24], [23]. Dabei spielen zum Beispiel neben dem allgemeinen Standort des Roboters auch die Art und Weise seiner Bewegung eine Rolle, das heißt, wie schnell bewegt er sich auf eine Person zu oder wie oft führt er eine Richtungsänderung durch [21]. Ein weiteres untersuchtes Merkmal ist die Größe des Roboters, wobei kleinere Roboter als weniger unangenehm empfunden werden, wenn sie einem Menschen zu nahe kommen, als größere [24].

Für die Vermeidung solcher Konflikte in der Mensch-Roboter-Interaktion gibt es mehrere Ansätze für Strategien, die ein Roboter verfolgen kann, um sich adäquat in dem Umgang mit Menschen verhalten zu können. Zwei dieser Strategien werden nachfolgend kurz erläutert, wobei die erste in der Zukunft auch mithilfe des Animationswerkzeugs verifiziert werden soll, indem simulierte Anwendungsszenarien für Befragungen von Probanden dienen sollen.

4.1 Vermeidung von Konflikten durch Berechtigungen

Lindner und Eschenbach [18] entwickeln eine Strategie, die ein sozial agierender Roboter verfolgen kann, um sich adäquat im Umgang mit Menschen verhalten zu können. Dafür benötigt ein Roboter einerseits die Fähigkeit für die Wahrnehmung bestimmter sozialer Räume, zu denen auch der persönliche Raum gehört, und andererseits muss der Roboter wissen, ob er berechtigt ist, einen bestimmten Raum zu betreten oder nicht.

Die Bewegung eines Roboters durch seine Umwelt lässt sich somit als eine Navigation durch soziale Räume beschreiben. Die Abbildung 4.1 zeigt ein Ziel, das ein Roboter von seinem Startpunkt aus erreichen möchte und diverse soziale Räume, wie die Zonen des persönlichen Raums, oder auch ein Territorium, das den Raum einschließt, sowie einen Affordanzraum eines Fernseher. Wenn der Roboter seinen ersten Wegpunkt erreicht, befindet er sich in dem Territorium. Der zweite Punkt liegt innerhalb von zwei Räumen, einmal dem Territorium und ebenfalls in dem Affordanzraum. Um auf seinem Weg von Raum zu Raum zu gelangen, besitzt der Roboter bestimmte Zugangsberechtigungen, die sich bei einer Überlagerung von Räumen kombinieren lassen. Sollte er für das Betreten eines Raums keine Berechtigung besitzen, muss er diesen möglichst umgehen. Die Berechtigungen können abhängig davon sein, welches Vorhaben er verfolgt. Zum Beispiel muss ein Roboter, der einem Menschen ein Getränk reichen möchte, näher an diesen herantreten, als wenn der Roboter den Menschen nur umgehen will.

Aus den Informationen, die der Roboter über die Räume, die zwischen ihm und seinem Zielpunkt liegen besitzt, können nun verschiedene Routen ermittelt und in bestimmte Adäquatheitsklassen eingeteilt werden, von denen der Roboter dann die möglichst adäquate wählt.

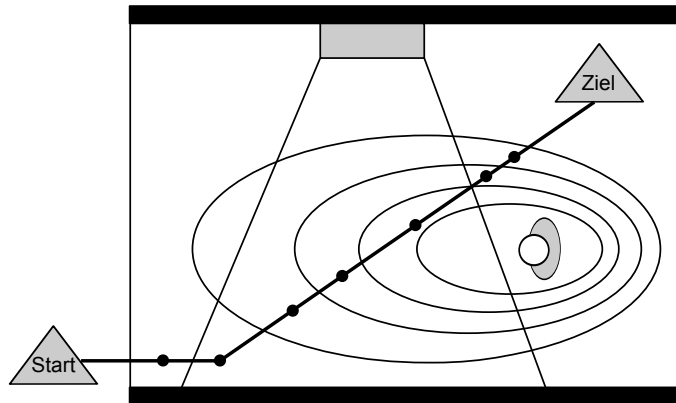


Abbildung 4.1 – Der Weg eines Roboters führt durch verschiedene soziale Räume

4.2 Vermeidung von Konflikten durch Wegekosten

Einen etwas anderen Ansatz für die Planung der Bewegungen eines Roboters innerhalb von Räumen mit Menschen verfolgen Sisbot et al. [22]. Bei dieser Strategie besitzt der Roboter das Optimierungsziel, möglichst wenig Wegekosten zum Erreichen seines Ziels zu verbrauchen.

Dazu teilt der Roboter seine Umgebung in zwei Raster ein. Jeder Punkt auf dem Raster besitzt einen Wert für die Kosten seines Betretens. Das eine Raster ist für die Abbildung der Kosten für das Sicherheitskriterium vorgesehen, welches die Einhaltung von Distanzen zwischen dem Roboter und Menschen regelt. Die Kosten für die Annäherung eines Menschen wird in Form einer Gaussglocke realisiert, wie es in Abbildung 4.2 zu sehen ist. Diese

Glocke kann man als die Sichtweise des Roboters auf den persönlichen Raum des Menschen interpretieren, nur dass er keine diskrete Struktur besitzt, sondern eine stetige. Die Kosten steigen stetig, umso näher der Roboter einer Person kommt. Es wird außerdem angenommen, dass die Kosten für das Näherkommen geringer ausfallen wenn ein Mensch steht, als wenn er beispielsweise auf einem Stuhl sitzt.

Das zweite Raster beschreibt das Sichtbarkeitskriterium, welches dafür verantwortlich ist, dass der Roboter sich möglichst im Sichtfeld aufhält. Dabei wird in dem zweiten Raster die Gaußglocke hinter den Menschen verschoben, was bedeutet, dass die Kosten genau hinter einer Person am höchsten ausfallen. Des Weiteren werden die Kosten hinter Hindernissen, hinter denen der Roboter nicht mehr sichtbar ist, höher, da ein überraschendes Auftauchen eines Roboters einen negativen Effekt auf das Wohlbefinden einer Person hat.

Aus der Zusammensetzung dieser beiden Kostenarten kann der Roboter nun seinen Weg berechnen und dementsprechend die Route wählen, auf der er am wenigsten Kosten verbraucht.

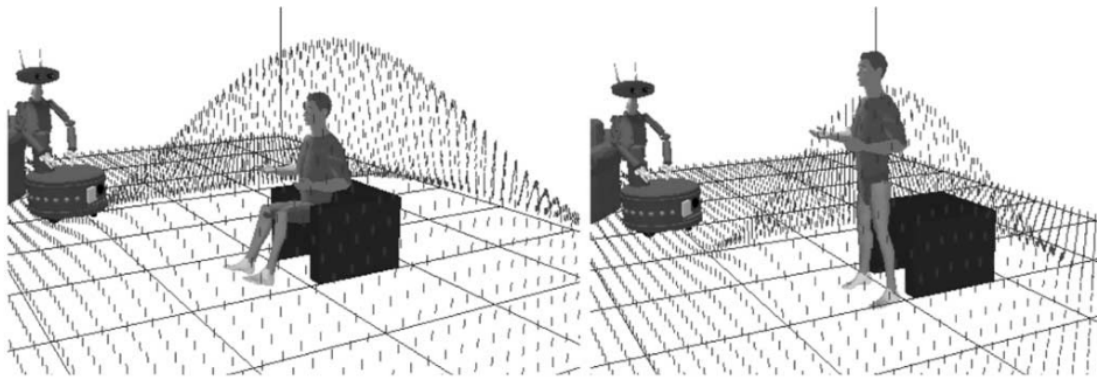


Abbildung 4.2 – Persönliche Raum als Wegekosten in Form einer Gaußkurve [22]

4.3 Anwendungsszenarien für eine Simulation

Das Animationswerkzeug soll nach der Implementierung des persönlichen Raums in das Modell bereits in der Lage sein, kleinere Szenen zu animieren, die das Durchqueren eines persönlichen Raums eines Menschen von Robotern in bestimmten alltäglichen Situationen darstellen. Dazu werden hier zwei beispielhafte Szenarien erläutert, die für eine spätere Befragen von Probanden genutzt werden könnten, um Rückschlüsse auf ein adäquates Verhalten in den jeweiligen Situationen bilden zu können. Ob während einer Befragung der persönliche Raum eingeblendet ist, oder nur für eine nachträgliche Analyse genutzt wird, bleibt dabei abzuwägen. Die Ausdehnung der einzelnen Zonen entsprechen in den nachfolgenden Darstellungen nicht zwingend den genauen Distanzen aus Kapitel 3, da sie nur den allgemeinen Aufbau eines Anwendungsszenario veranschaulichen sollen.

4.3.1 Flurszene

Das erste Szenario beschreibt eine Szene auf einem engen Flur, in dem ein Mensch steht und ein sich nähernder Roboter an der Person vorbeibewegen soll. Hierbei hat der Roboter die Möglichkeit zwischen 5 verschiedenen Routen zu wählen, wie es Abbildung 4.3 zeigt. Einmal komplett an dem persönlichen Raum vorbei, was auch den weitesten Umweg bedeuten würde, und dann vier weitere Routen, die jeweils immer eine Zone näher an den Menschen heranführen.

Der Vorteil dieses Szenarios ist es, dass ein ähnliches Experiment von Elena Pacchierotti [20] bereits in realer Umgebung durchgeführt wurde. Daher ließe sich anhand einer Befragung von Probanden nicht nur das Empfinden vom adäquaten Verhalten des Roboters innerhalb der Simulation ermitteln, sondern diese Ergebnisse könnten ebenfalls mit den Ergebnissen des realen Experiments verglichen werden. Das würde wiederum Rückschlüsse darauf geben, ob und inwieweit es Unterschiede in der Wahrnehmung von realen Situationen und der Betrachtung einer Simulation von Mensch-Roboter-Interaktionen gibt.

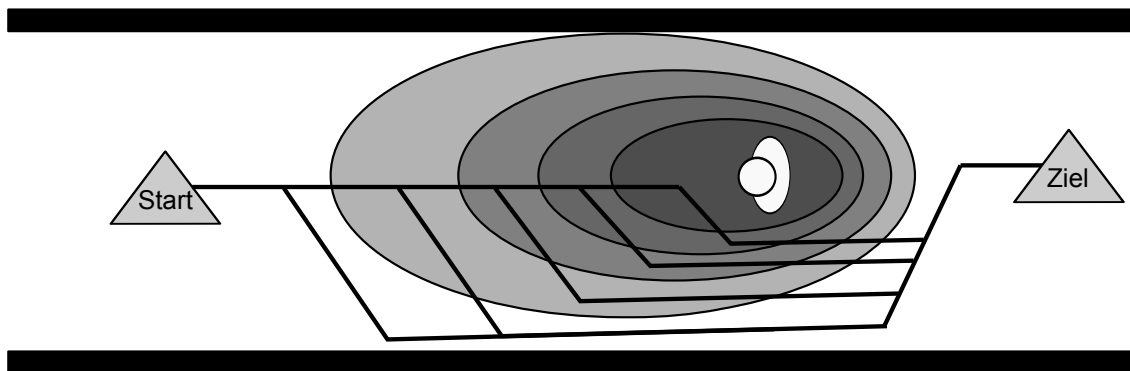


Abbildung 4.3 – Szenario für die Flurszene

4.3.2 Büroszene

Das zweite Szenario beschreibt eine alltägliche Szene in einem Büro. Hierbei sitzt eine Person hinter einem Schreibtisch und eine weitere auf einem Stuhl davor. Normalerweise könnte man davon ausgehen, dass beide Personen miteinander interagieren, sich zum Beispiel unterhalten. Die Person, die sich in Abbildung 4.4 hinter dem Schreibtisch befindet, soll diejenige darstellen, in die sich ein Proband hineinversetzen soll. Aus diesem Grund wird auch nur der der Person zuzuordnende persönliche Raum dargestellt. Für eine Betrachtung aus der Sicht der vor dem Schreibtisch sitzenden Person, könnte auch ihr persönlicher Raum eingeblendet sein. Genauso könnten bei einer Betrachtung der gesamten Situation beide persönlichen Räume eingeblendet werden. Auf die Darstellung weiterer sozialer Räume, die bei einer Interaktion entstehen können, wie einem Aktivitätsraum, wird aufgrund der Konzentrierung der Untersuchung und die daraus bevorstehende Modellierung des persönlichen Raums verzichtet. Ein spätere Ergänzung um weitere soziale Räume ist aber durchaus denkbar.

Einem Roboter, der von seinem Startpunkt aus zu dem gezeigten Ziel gelangen muss, stehen nun unterschiedliche Routen zur Verfügung. Diese Routen führen einerseits vor der Person vorbei, die sich hinter dem Schreibtisch befindet, jeweils durch keine bis hin zu allen vier Zonen des persönlichen Raums. Fünf weitere Alternativen führen hinter der Person durch keine bis hin zu allen vier Zonen.

Die Ergebnisse einer Befragung könnten Erkenntnisse aufdecken, ob das Betreten des Roboters von Zonen des persönlichen Raums auch während einer Interaktion seine Auswirkungen beibehält oder es zu Veränderungen kommen könnte, so dass zum Beispiel eine Interaktion im extremsten Fall den persönlichen Raum für die Durchquerung irrelevant macht. Ein weiterer Punkt, der bei einer Befragung untersucht werden kann, wäre es, ob ein Schreibtisch die Zonen des persönlichen Raums abschneidet, wie es beispielsweise eine Wand in Abschnitt 3.4 machen würde. Außerdem könnte verifiziert werden, dass die Bewegung eines Roboters, der Zonen des persönlichen Raums im Sichtfeld durchquert, gleichermaßen adäquat eingestuft wird, wie die Bewegung durch die selben Zonen auf der Rückseite einer Person. Um diese Erkenntnisse getrennt voneinander Betrachten zu können, wäre es möglich das Szenario in mehrere Befragungen aufzuteilen.

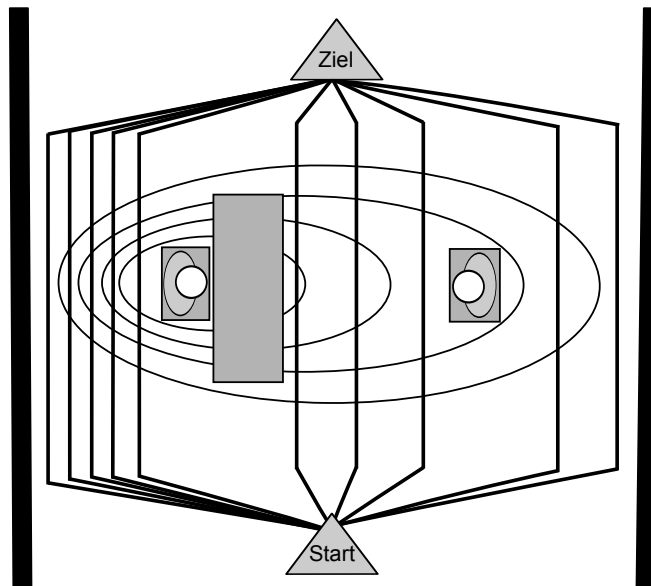


Abbildung 4.4 – Szenario für die Büroszene

4.4 Anforderungen an das Modell

Für die Erstellung der besprochenen Szenarien bedarf es neben dem geometrischen Modell des persönlichen Raums noch weitere Objekte, die in das Modell des Animationswerkzeugs integriert werden müssen. Dazu zählen einerseits Menschen, denen man einen persönlichen Raum zuordnet und Roboter, die sich innerhalb der Szene bewegen können. Auf der anderen Seite sollte es möglich sein Objekte, wie Wände und Möbelstücke, der Szene hinzuzufügen, die den persönlichen Raum gegebenenfalls verformen können.

5 Das Modell

Für die zuvor genannten Anforderungen an ein geometrisches Modell von dem persönlichen Raum, sowie die weiteren benötigten Objekte aus den beispielhaften Anwendungsszenarien, gilt es ein allgemeines Modell zu entwickeln, welches für die Implementierung in dem Modell des Animationswerkzeugs geeignet ist und mit dessen Hilfe weitere kleinere Szenarien im zweidimensionalen Raum für den Umgang mit dem persönlichen Raum und Robotern entwickelt werden können.

In Kapitel 2 wurde beschrieben, welche Objekte Löw [8] für die Entstehung von sozialen Räumen und der Bestimmung der Ausmaße dieser Räume verantwortlich macht. Dazu zählen einerseits Lebewesen und andererseits soziale Güter. Diese Objekte werden aufgrund ihrer einwirkenden Eigenschaften auf soziale Räume zukünftig als soziale Objekte bezeichnet. Neben den zuvor genannten sozialen Objekten, gilt es auch den persönlichen Raum in das Modell zu integrieren. Hierzu wird er, wie in Kapitel 3 beschreiben, als eine Art der sozialen Räume kategorisiert.

Für die Betrachtung der Miniwelt der Anwendungsszenarien können alle benötigten Objekte demzufolge in die zwei Grundtypen soziale Objekte und soziale Räume eingeteilt werden, welche nachfolgend näher erläutert werden. Daran anschließend wird das geometrische Modell des persönlichen Raums entwickelt.

5.1 Das soziale Objekt

Ein soziales Objekt, wie es in diesem Modell definiert wird, zeichnet sich dadurch aus, dass es selbst ein Körper im zweidimensionalen Raum ist, das heißt geometrische Ausmaße besitzt und sich an einem Ort befindet.

Eine Spezifizierung in zwei Unterarten von sozialen Objekten, kann für das Modell nach der Unterteilung von Löw in Lebewesen und soziale Güter ähnlich geschehen, wobei für die betrachtete Miniwelt nur materielle soziale Güter infrage kommen. Anstatt von Lebewesen zu sprechen, werden in dem Modell soziale Objekte, die soziale Handlungen ausführen können, als Agenten bezeichnet. Dadurch ist es möglich auch Roboter, die ebenfalls soziale Handlungen ausführen, als eine Unterart von Agenten zu kategorisieren.

Neben den geometrischen Eigenschaften, besitzen soziale Objekte noch die Eigenschaft durchlässig oder undurchlässig für soziale Räume zu sein. Das bedeutet, in Bezug auf den persönlichen Raum, dass zum Beispiel Wände oder auch große Roboter, wie in Kapitel 3 beschrieben, den Raum eingrenzen und verformen können. Es könnte auf der anderen Seite angenommen werden, dass kleinere Objekte, wie ein Hocker oder ein Stuhl den persönlichen

Raum nicht begrenzen, da sie das Wahrnehmen von Raum durch ihre geringe Höhe auch über sie hinweg möglich macht. Genauso könnte man durch Untersuchung in der virtuellen Realität [25], in denen festgestellt wurde, dass der persönliche Raum zum Beispiel auch bei dem Betrachten von 3D-Bildern eine Rolle spielt, auf eine Durchlässigkeit von gläsernen Objekten, wie Glaswänden, für den persönlichen Raum schließen. Das heißt, ein Mensch hinter einer gläsernen Wand könnte sich auch unwohl fühlen, wenn von der anderen Seite sich eine fremde Person annähert, obwohl er eigentlich weiß, dass die fremde Person nicht durch die Wand an ihn herantreten kann. Das Sehen und damit Wahrnehmen von Raum durch eine gläserne Wand wäre gegeben, womit eine Durchlässigkeit für den persönlichen Raum begründet werden könnte. Ob diese Annahmen auch in der Realität Bestand haben, bleibt durch die Empirie zu bestätigen und kann im Rahmen dieser Arbeit nicht ermittelt werden. Deshalb wird in dem Modell vorerst davon ausgegangen, dass es soziale Objekte gibt, die soziale Räume einschränken können und soziale Objekte, die durchlässig für soziale Räume sind.

Die Abbildung 5.1 zeigt die vier benötigten Objekte, die für die Erstellung der Anwendungsszenarien benötigt werden. Dabei bilden Menschen, sowie Roboter spezielle Agenten. Wände, sowie Möbelstücke bilden spezielle materielle Güter. Agenten und materielle Güter sind wiederum spezielle soziale Objekte.

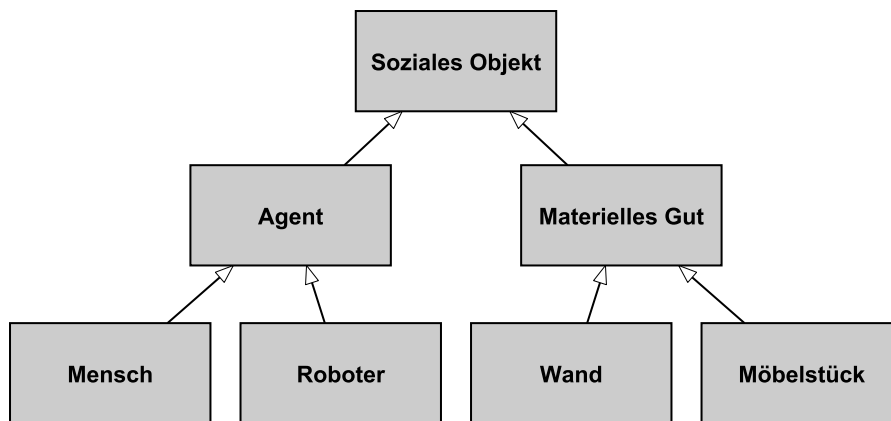


Abbildung 5.1 – Die sozialen Objekte

5.2 Der soziale Raum

Der zweite Grundtyp an Objekten sind die sozialen Räume. Lindner und Eschenbach [18] haben fünf verschiedene Arten von sozialen Räumen in den Vordergrund gestellt, die von einem Roboter beachtet werden sollten und die zukünftig alle in das Modell integriert werden sollen. Dazu zählt unter anderem auch der in dieser Arbeit untersuchte persönliche Raum. Soziale Räume haben zwar ein geometrisches Ausmaß im zweidimensionalen Raum, wie es soziale Objekte ebenfalls besitzen, können aber flüchtig in ihrer Existenz sein und werden in ihrem Erscheinungsbild durch soziale Objekte beeinflusst.

Eine bis hierhin festgestellte Eigenschaft, die nicht alle sozialen Räume teilen, ist der graduelle Aufbau des persönlichen Raums, sowie des penetrierenden Raums. Diese beiden Räume können zu einer Unterart, dem graduellen sozialen Raum, zusammengefasst werden.

Die Abbildung 5.2 veranschaulicht die Tatsache, dass der persönliche Raum und der penetrierende Raum graduelle soziale Räume sind. Die Zusammenfassung weiterer Räume mit gleichen Eigenschaften könnte gegebenenfalls bei einer näheren Untersuchung dieser geschehen. Vorerst werden die weiteren sozialen Räume somit als soziale Räume kategorisiert.

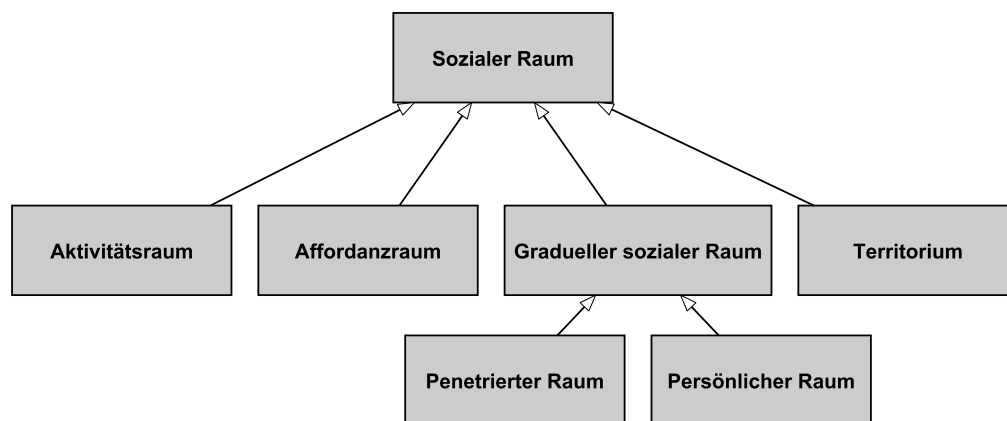


Abbildung 5.2 – Die sozialen Räume

5.3 Der persönliche Raum

In Kapitel 3 wurde das Modell des persönlichen Raums, wie es Hall [3] für zwischenmenschliche Interaktionen definiert, mit einer zweidimensionalen diskreten graduellen Struktur beschrieben. Ein ähnliches diskretes Modell ermittelte Nakauchi [19] bei einer Befragung von Personen, die sich in eine Warteschlange einreihen sollen. Dabei wird für die Untersuchung der Raum in nur zwei Zonen eingeteilt. Eine Zone, die beschreibt, wie nah sich eine Person in die Warteschlange einreihen würde, ohne sich unwohl zu fühlen. Die zweite Zone gibt an, in welcher Distanz sich eine Person einreihen würde, ohne dass sie das Gefühl hat nicht mehr zu der Warteschlange zu gehören.

Ein Modell aus der Sicht eines Roboters auf den persönlichen Raum, wie es von Sisbot [22] beschrieben wird (siehe Kapitel 4), wird durch eine graduelle, aber stetige Gaußglocke beschrieben. Einen ebenso stetigen Ansatz verfolgt Amaoka [14] für virtuelle Agenten, deren persönlicher Raum mittels zweier Gauß-Funktionen definiert wird, wobei beide Funktionen im Mittelpunkt des Agenten ihr Maximum besitzen.

Der diskrete Ansatz, den persönlichen Raum in klar abgetrennte möglichst großflächige Zonen zu unterteilen, ist für die Implementation in das Animationswerkzeug zu bevorzugen. Dieses ermöglicht den Raum und seine Regionen mit wenigen geometrischen Formen zu beschreiben. Für das geometrische Modell des persönlichen Raums gilt es also einerseits

eine graduelle Struktur seiner Zonen zu bilden und die einzelnen Zonen als eine geeignete geometrische Figur darzustellen.

Die graduelle Struktur, wie sie in Kapitel 3 beschrieben wird, gilt als Ansatzpunkt mit der Annahme, dass der Mensch sich im Mittelpunkt seines persönlichen Raums befindet. Von dem Menschen ausgehend, breiten sich die Zonen um ihn herum konzentrisch aus. Im folgenden wird der persönliche Raum in die besprochenen vier Hauptzonen unterteilt, wobei für das Modell im allgemeinen eine variable Anzahl an Zonen gilt.

Die Darstellung der Zonen als Ringflächen, wie sie sich aus den Distanzen von Hall [3] mit minimalem und maximalem Wert ergeben, ist für eine geometrische Darstellung nicht zwingend nötig. Das heißt der persönliche Raum kann ausschließlich aus der Angabe der maximalen Distanzwerte beschrieben werden. Die Abbildung 5.3 veranschaulicht die vier Zonen als Kreisflächen, die aus der jeweiligen maximalen Distanz übereinander gezeichnet sind, wobei die tatsächliche Form der Zonen nachfolgend noch genauer zu beschreiben ist.

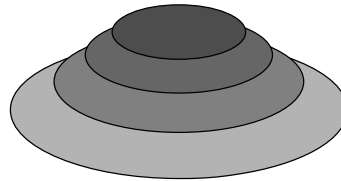


Abbildung 5.3 – Zonen als Kreisflächen

Um die Reihenfolge der darzustellenden Zonen zu bestimmen, besitzen die Zonen innerhalb eines persönlichen Raums eine Ordnung ihrer geometrischen Größe. Diese wird durch die Distanz festgelegt. Dabei wird angenommen, dass zwei Zonen niemals die gleiche Distanz aufweisen, da für eine zweidimensionale Darstellung des Raums diese nicht unterschieden werden können und somit für die Darstellung keinen Nutzen hätten. Daher gilt:

$$\forall z_1, z_2 \in PR : z_1 \neq z_2 \Rightarrow z_1 > z_2 \vee z_2 > z_1$$

Unter den vier gezeigten Zonen besteht somit folgende Ordnung:

öffentliche Zone > soziale Zone > persönliche Zone > intime Zone

Die Bestimmung, ob eine Zone intimer ist als eine andere Zone kann ebenfalls mittels dieser Ordnung ermittelt werden.

$$\text{Zone1} > \text{Zone2} \Rightarrow \text{Zone2} >_{\text{intimer}} \text{Zone1} \qquad \text{Zone2} > \text{Zone1} \Rightarrow \text{Zone1} >_{\text{intimer}} \text{Zone2}$$

Um nun zu bestimmen, welches die intimste Zone des persönlichen Raums ist, in der sich ein Roboter oder ein anderer Mensch aufhält, so befindet er sich immer in der kleinsten aller Zonen, in denen er steht. Das heißt, ein Roboter, der 1m entfernt vor einem Menschen steht, befindet sich geometrisch innerhalb von 3 Zonen und zwar der öffentlichen, sozialen und persönlichen Zone. Aufgrund der genannten Ordnung ist die intimste Zone, in der sich der Roboter befindet die persönliche Zone.

Beziehung zwischen Menschen und persönlicher Raum

Neben der Tatsache, dass sich ein Mensch geometrisch immer im Mittelpunkt seines persönlichen Raums aufhält, lässt sich eine weitere Beziehung zwischen einem Menschen und seinem persönlichen Raum feststellen. Ein Mensch kann maximal einen persönlichen Raum besitzen und ein persönlicher Raum muss von genau einem Menschen besessen werden. Da der persönliche Raum aus seinen Zonen zusammengesetzt ist, kann ein Besitzverhältnis zwischen den Zonen und einem Menschen hergestellt werden. Die Abbildung 5.4 zeigt einen Menschen, der als persönlichen Raum vier Zonen besitzt und sie somit auch erzeugt. Jede Zone ist wiederum einem Menschen zugeordnet und kann somit als Teil des persönlichen Raums dieses Menschen identifiziert werden. Zwischen den Zonen herrscht die zuvor genannte Ordnung.

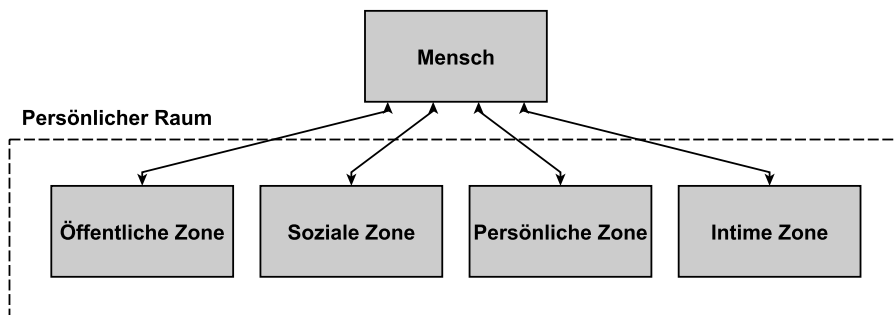


Abbildung 5.4 – Der Mensch und die Zonen seines persönlichen Raums

5.3.1 Die Zone

In Kapitel 3 wurden die Eigenschaften der Zonen des persönlichen Raums beschrieben, aus denen es nun gilt, die Form einer Zone mathematisch zu beschreiben. Sämtliche genannten Einflussfaktoren münden in die Veränderung eines Wertes, nämlich des Distanzwerts für eine Zone. Aus diesem Grund soll es möglich sein, mittels mehrerer Distanzwerte einen persönlichen Raum zu konstruieren.

Anschließend soll diese Form diskret angenähert werden, damit auch die Verformungen mit einem adäquaten Aufwand in das Animationswerkzeug implementiert werden kann. Amaoka [14] bezieht sich für die Ausdehnung des persönlichen Raums zur Vorderseite auf die Definition von Shozo [11], der zur Vorderseite eine zweimal so große Ausdehnung, wie zu den Seiten und zur Rückseite feststellt. Diese Annahme soll vorerst für die folgende mathematische Beschreibung gelten.

Mathematische Beschreibung

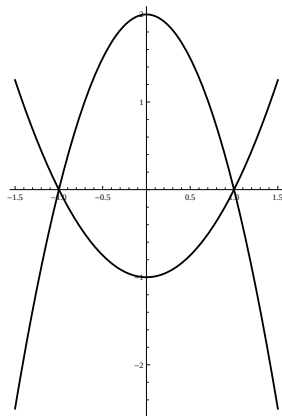
Für eine mathematische Beschreibung wird angenommen, dass die zur Verfügung stehenden Distanzen für die Ausdehnung der einzelnen Zonen des persönlichen Raums in Sichtrichtung der Person gelten. Dabei schaut die Person in Richtung der positiven y-Achse.

Als ersten Ansatz könnte man diesen Sachverhalt durch die Fläche zwischen zwei Parabeln $f(x) = -2x^2 + 2$ und $g(x) = x^2 - 1$, wie es Abbildung 5.5 (a) zeigt, beschreiben. Die jeweiligen Schnittpunkte an den Seiten besitzen zwar den richtigen Abstand zum Ursprung der Person, nur würde diese Form Ecken aufweisen und sich zum Beispiel an der Rückseite nicht in alle Richtungen mit der gleichen Distanz ausdehnen.

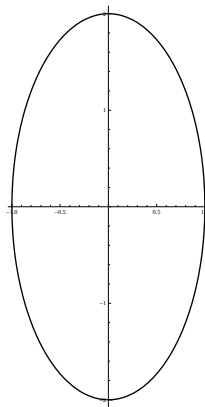
Ein zweiter Ansatz ist die Modellierung mittels vorhandener geometrischer Grundformen. Eine Ellipse kann durch die Gleichung $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ [10] beschrieben werden, wobei a die Länge der großen und b die Länge der kleinen Halbachse beschreibt. Die Ellipse in Abbildung 5.5 (b) wird durch die Gleichung $x^2 + \frac{y^2}{4} = 1$ beschrieben und besitzt eine Distanz von 2 zum Ursprung in Richtung des positiven, sowie negativen y-Achsenabschnitts und eine Distanz von 1 in Richtung des positiven und negativen x-Achsenabschnitts. In Richtung des negativen x-Achsenabschnitts, also zu der Rückseite der Person, bedarf es aber für die oben genannte Annahme einer Distanz von 1. Aus diesem Grund ist diese komplette Ellipse nicht für die Modellierung geeignet, sondern nur der obere Teil, welcher positive y-Werte aufweist und für den vorderen Bereich der Person dienen kann.

Der hintere Bereich sollte eine gleichmäßige Ausdehnung mit einer Distanz von 1 in normierter Form aufweisen. Hierzu bietet sich die Gleichung für einen Kreis $x^2 + y^2 = r^2$ [10] mit dem Radius $r = 1$ an und in diesem Fall die Hälfte im negativen y-Achsenabschnitt, die somit die äußere Ausdehnung des hinteren Teils einer Zone beschreiben können. Die obere Hälfte der Ellipse, zusammengesetzt mit der unteren Hälfte des Kreises, könnten somit die Anforderungen an die Ausdehnung des persönlichen Raums erfüllen. Die Abbildung 5.5 (c) zeigt die kombinierte Figur, die durch folgende zwei Funktionen beschrieben werden kann und eine Distanz $d = 2$ aufweist, wobei die nicht genutzten Teile der Formen als gestrichelte Linie dargestellt sind:

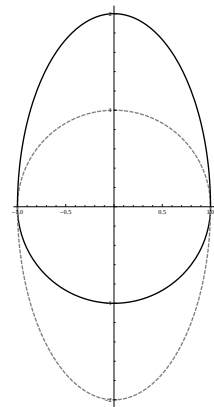
$$\text{Halbkreis: } k(x) = -\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - x^2}, \quad \text{Halbe Ellipse: } e(x) = 2 * \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - x^2} \quad (3.1)$$



(a) Beschreibung durch zwei Parabeln



(b) Ellipse mit $a = 1$ und $b = 2$



(c) Zusammengesetzte Figur

Abbildung 5.5 – Beschreibung der Grenzen des persönlichen Raums durch Funktionen

Fläche

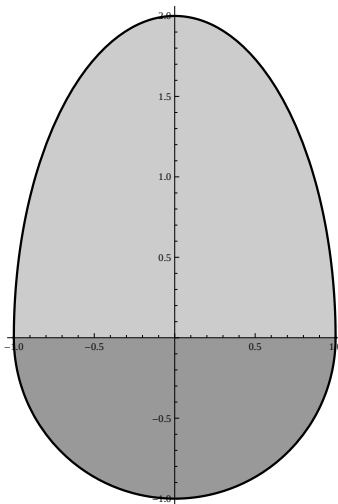
Mit dem nun modelliertem Oval, oder auch Eiform genannt, kann die Fläche (Abbildung 5.6 (a)) des gesamten persönlichen Raums ermittelt werden. Für die Ausdehnung d in positiver y-Richtung, ist die Grundfläche mit Hilfe der halben Fläche des Kreises, addiert mit der Hälfte der Fläche der Ellipse, wie folgt zu berechnen:

$$\text{Fläche} = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi}{2} + \frac{\frac{d}{2} \cdot d \cdot \pi}{2} = \frac{3d^2 \cdot \pi}{8} \quad (3.2)$$

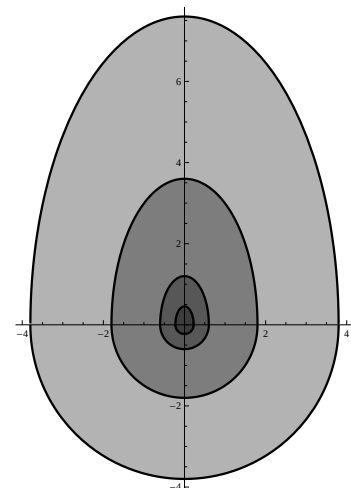
Die Abbildung 5.6 (b) zeigt den persönlichen Raum mit vier Hauptzonen und den Distanzwerten nach Hall. Die Fläche, die die einzelnen Zonen beanspruchen, sind in Tabelle 5.1 zu sehen und können als die Flächen angesehen werden, die zuvor noch als Kreisflächen angenommen wurden.

Zone	Intim	Persönlich	Sozial	Öffentlich
Distanz (m)	0,45	1,2	3,6	7,6
Fläche (m ²)	0,24	1,7	15,27	68,05

Tabelle 5.1 – Flächen der Zonen nach den Distanzen von Hall



(a) Zusammensetzung der Fläche



(b) Flächen der Zonen nach den Distanzen von Hall

Abbildung 5.6 – Fläche des persönlichen Raums als Eiform

Diskrete Annäherung

Nachdem die Ausmaße der Zonen des persönlichen Raums durch Funktionen beschrieben wurde, gilt es diese als geeignete diskrete Form anzunähern. Eine Möglichkeit ist das Einteilen der Eiform in Dreiecke, die einen Eckpunkt im Ursprung besitzen und zwei

weitere auf der Kontur der Form. Dazu werden zwei leicht voneinander abweichende Konstruktionen benötigt. Einerseits für die Dreiecke im unteren Halbkreis mit folgenden drei Eckpunkten, wobei d die Distanz zur Vorderseite beträgt. Die Variable n gibt dabei die gesamte Anzahl der Dreiecke an, mit der Einschränkung, dass es eine gerade Anzahl an Dreiecken sein muss, und i die Nummer des jeweiligen Dreiecks mit $1 \leq i \leq \frac{n}{2}$:

$$p_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad p_2 = \begin{pmatrix} \frac{d}{2} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{n} \cdot i\right) \\ \frac{d}{2} \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{n} \cdot i\right) \end{pmatrix} \quad p_3 = \begin{pmatrix} \frac{d}{2} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{n} \cdot (i-1)\right) \\ \frac{d}{2} \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{n} \cdot (i-1)\right) \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

Für die obere Halbe Ellipse sind die Punkte der Dreiecke mit $\frac{n}{2} < i \leq n$ wie folgt bestimmt:

$$p_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad p_2 = \begin{pmatrix} \frac{d}{2} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{n} \cdot i\right) \\ d \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{n} \cdot i\right) \end{pmatrix} \quad p_3 = \begin{pmatrix} \frac{d}{2} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{n} \cdot (i-1)\right) \\ d \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{n} \cdot (i-1)\right) \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Die Abbildung 5.7 (a) zeigt die Unterteilung des Raums in 8 Dreiecke, was der ursprünglichen Fläche einer Zone, wie sie im vorigen Abschnitt berechnet wurde, bereits recht nahe kommt. Um eine noch genauere Annäherung zu erhalten, kann die Anzahl der Unterteilungen weiter erhöht werden. In Abbildung 5.7 (b) wurde der persönliche Raum in 36 Dreiecke unterteilt, was bereits eine Annäherung an die Ursprungsfläche von über 99% bedeutet. Die Tabelle 5.2 zeigt die Abweichung in Abhängigkeit der Anzahl von Dreiecken, wobei hier die Distanz der äußersten Zone mit 7,6m angenommen wird und mit der entsprechenden Fläche aus der Tabelle 5.1 verglichen wird. Die Abweichungen für andere Distanzen verhalten sich ebenso. Folgende Berechnung liegt der Flächenermittlung als Summe der einzelnen Dreiecksflächen zugrunde, dabei gestaltet sich die Berechnung der Fläche eines Dreiecks mit einem Eckpunkt im Ursprung und zwei weiterer Punkte (x_1, y_1) und (x_2, y_2) als $2A = x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1$:

$$\begin{aligned} A = & \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \left(\frac{d}{2} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{a} \cdot (n-1)\right) \cdot \frac{d}{2} \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{a} \cdot n\right) - \right. \\ & \left. \left(\frac{d}{2} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{a} \cdot n\right) \cdot \frac{d}{2} \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{a} \cdot (n-1)\right) \right) + \right. \\ & \frac{1}{2} \sum_{i=\frac{n}{2}+1}^n \left(\frac{d}{2} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{a} \cdot (n-1)\right) \cdot d \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{a} \cdot n\right) - \right. \\ & \left. \left(\frac{d}{2} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{a} \cdot n\right) \cdot d \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{a} \cdot (n-1)\right) \right) \right) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Die Tatsache, dass die Winkeleinteilung, wie sie im unteren Halbkreis existiert, in der oberen Ellipse anders ausfällt (siehe Abbildung 5.7 (a),(b)), ist darauf zurückzuführen, dass die halbe Ellipse einem Halbkreis mit einer Streckung in y-Richtung um den Faktor 2 entspricht. Der Vorteil an dieser Gegebenheit ist es, dass alle Dreiecke, die die halbe Ellipse einteilen, die selbe Fläche besitzen. Aus diesem Grund könnte die Berechnung der

Anzahl Dreiecke gesamt n	4	8	16	32
Fläche (m^2) für $d = 7,6$	43,32	61,26	66,31	67,61
Abweichung (%)	36,34	9,98	2,56	0,65

Tabelle 5.2 – Abweichung der Fläche als diskrete Struktur

Fläche (3.5) auch einfacher ausfallen. Die Einteilung der halben Ellipse in gleiche Winkel, hätte den Nachteil, dass die Dreiecke auf der Vorderseite eine wesentlich größere Fläche, als die Dreiecke an den Seiten aufweisen würde. Ein weiterer Nachteil wäre eine stärker abweichende Berechnung der Punkte auf der Kontur der halben Ellipse, im Gegensatz zu der Berechnung der Punkte auf der Kontur des Halbkreises.

Das bisher angenommene Verhältnis von der Vorderseite einer Zone zu den Seiten und der Rückseite von 2:1, wird für jeden Punkt auf der Kontur durch einen Skalierungsfaktor beschrieben. Für die Berechnung der Punkte auf der Kontur des Halbkreises (3.3) entspricht dieser Faktor für den x- und y-Wert $\frac{d}{2}$. Die Punkte auf der Kontur der halben Ellipse (3.4) weisen einen Skalierungsfaktor von $\frac{d}{2}$ für die x-Werte, sowie d für die y-Werte auf. Diese Faktoren könnten bei einem gewünschtem abweichenden Verhältnis verändert werden. Zum Beispiel wird durch das Gleichsetzen aller Skalierungsfaktoren ein Kreis beschrieben. Ein Verhältnis, wie es Nakauchi [19] für Personen in einer Warteschlange ermittelt hat, ist ebenso umsetzbar. Es ist dabei darauf zu achten, dass der Faktor für die x-Werte der oberen Hälfte der Figur, dem Faktor der x-Werte der unteren Hälfte entsprechen, um eine geschlossene Figur zu garantieren.

Mit dem Einteilen der Fläche in Dreiecke wäre es für die Beschreibung der Form nötig, pro Dreieck drei Punkte zu definieren, also $n \cdot 3$. Da ein Drittel der Punkte auf dem Ursprung liegen, reicht es aus, diesen nur einmal zu definieren. Ein weiteres Drittel aller Punkte teilt sich einen Punkt auf der Kontur mit seinem Nachbardreieck. Diese Redundanz ist für eine Darstellung der Dreiecke nicht zwingend notwendig und könnte durch den jeweiligen Punkt des Nachbarn berechnet werden, ist aber für die Verformung, wie sie im späteren Verlauf noch erläutert wird, von Vorteil. Um die Form einer Zone als einheitliche Figur beschreiben zu können ist es möglich, die Dreiecke zu einem Polygon zusammenzufassen, welches durch einen Mittelpunkt und die Punkte der ursprünglichen Dreiecke auf der Kontur beschrieben werden kann. Die Abbildung 5.7 (c) zeigt die vier Zonen des Raums als Polygone mit jeweils 16 Kanten.

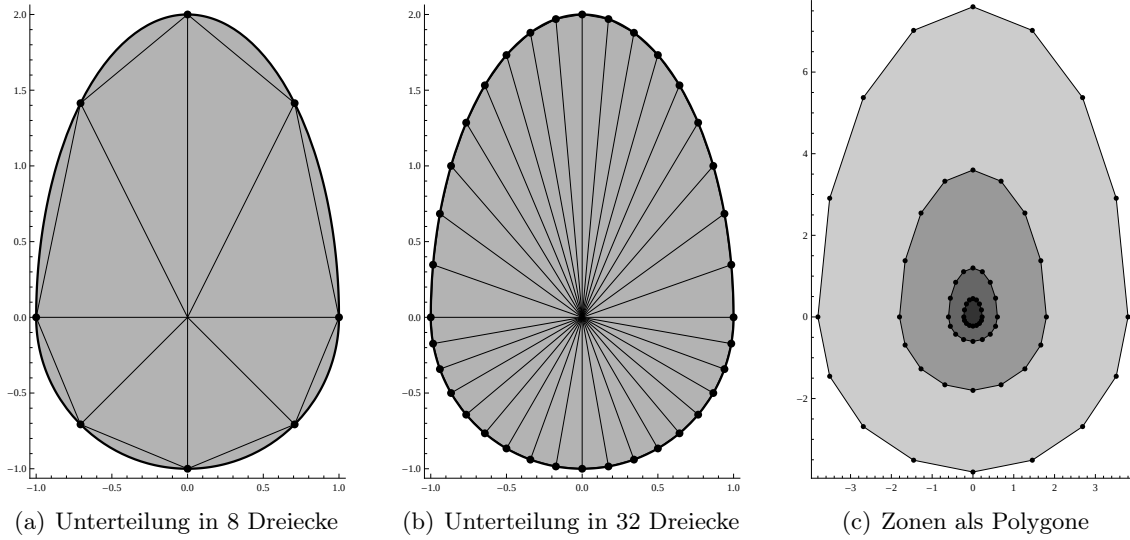


Abbildung 5.7 – Der persönliche Raum als diskrete Struktur

Verschiebung

Die berechnete Figur hat bisher den Mittelpunkt $(0, 0)$. Der Ursprung des persönlichen Raums muss aber immer gleich dem des Ursprungs seines Besitzers sein, darum werden alle Punkte p_i mit $1 \leq i \leq 2n$ per Translation um den Mittelpunkt des Menschen (x_0, y_0) verschoben.

$$p_i = \begin{pmatrix} x_i + x_0 \\ y_i + y_0 \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

Drehung

Das erhaltene Polygon definiert den Raum in einer Ausrichtung, bei der es eine maximale Ausdehnung im Maße des Distanzwerts in Richtung der positiven y-Achse aufweist. Dieses hätte zur Folge, dass der Mensch stets in diese Richtung schauen müsste. Da dieses nicht der Fall ist, muss der Raum gedreht werden können und zwar in gleicher Weise, wie sich der Mensch dreht.

Um dieses zu Erreichen müssen sämtliche Punkte des Polygons gedreht werden. Die Berechnung der gedrehten Punkte p_i mit $1 \leq i \leq 2n$ kann wie folgt geschehen, wobei der Winkel $\phi = 0$ die unveränderte Berechnung der Punkte bedeutet und die positive Erhöhung des Winkels eine Drehung im Uhrzeigersinn um den Mittelpunkt des Menschen an dem Punkt (x_0, y_0) bedeutet. Zunächst muss eine Translation des Mittelpunkts des Polygons und damit aller seiner Punkte zurück zum Ursprung stattfinden. Anschließend kann jeder Punkt mit einer Rotationsmatrix [13] um den Uhrzeigersinn gedreht werden. Zum Abschluss

muss der Mittelpunkt des Polygons wieder per Translation an den ursprünglichen Platz verschoben werden.

$$p_i = \begin{pmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Verformung

Um eine Verformung des Polygons durch undurchlässige Objekte zu erreichen, bedarf es zweier aufeinander folgender Schritte. Zuerst muss eine Kollision mit dem Objekt, welches den Raum verformt, ermittelt werden. Liegt eine Überschneidung beider Formen vor, muss anschließend das Polygon möglichst um die Fläche verformt werden, in der sich beide Formen überschneiden und den Bereich, der dahinter nicht mehr wahrnehmbar ist (siehe Kapitel 3). Nachfolgend wird angenommen, dass die Fläche alle Objekte, die einen Raum verformen können, durch ein sie umgebendes Viereck beschrieben werden.

Der persönliche Raum breitet sich von dem Mittelpunkt einer Person aus. Um sich diese Gegebenheit zu veranschaulichen, kann man sich eine unendliche Anzahl von Strahlen vorstellen, die sich vom Mittelpunkt in jede Richtung ausbreiten und an der Grenze des Raums abgeschnitten werden. Für die diskrete Figur bedeutet dieses, dass jeweils ein Dreieck, was durch zwei nebeneinander liegende Punkte und dem Mittelpunkt beschrieben wird, einen Strahl bildet. Wird ein Strahl bzw. Dreieck nun auf seinem Weg zur Grenze des Raums abgeschnitten, ist alles zwischen dem Schnittpunkt und der Grenze des Raums nicht mehr wahrnehmbar. Diese Tatsache besitzt den Vorteil, dass die einschneidenden Objekte, die als Vierecke beschrieben werden, die Strahlen des Raums nur an zwei ihrer Kanten abschneiden können, welche in Abbildung 5.8 als die Strecke zwischen den Punkten a und b , sowie die Strecke zwischen den Punkten b und c gekennzeichnet sind. An welchen Seiten des Vierecks diese Kanten liegen, ist abhängig von der Position des Vierecks zu dem Mittelpunkt des Raums. Es existieren somit vier verschiedene Kombinationen aus zwei Kanten eines Vierecks, welche den Raum möglicherweise einschneiden.

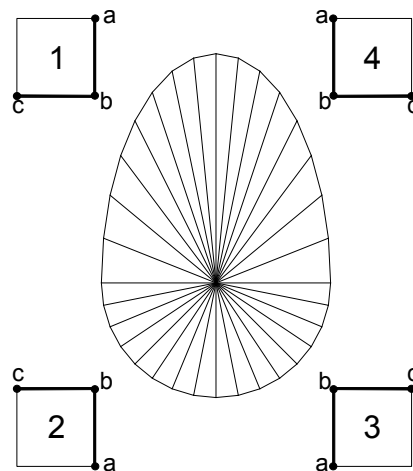


Abbildung 5.8 – relevante Kanten eines kollidierenden Vierecks

Eine Kollision zwischen einem Viereck und einem Dreieck des Raums kann somit erkannt werden, wenn sich mindestens eine der beiden Kanten des Vierecks und eine der beiden Strecken zwischen den Punkten des Dreiecks auf der Grenze des Raums und dem Mittelpunkt des Raums schneiden. Ein spezieller Fall einer Kollision ist es, wenn sich keine der zuvor genannten Kanten schneiden, aber der Punkt b (siehe Abbildung 5.8) innerhalb des Dreiecks liegt.

Für die Verformung, die nun aufgrund der Kollision geschehen soll, wird durch eine neue Berechnung der Distanz der beiden relevanten Punkte des Dreiecks durchgeführt. Dazu werden für beide relevanten Kanten des Dreiecks die Schnittpunkte mit allen kollidierenden Kanten einer oder mehrerer Vierecke oder die relevanten Eckpunkte herangezogen und der Punkt ermittelt, der den geringsten Abstand zum Mittelpunkt des Raums aufweist. Der Abstand zweier Punkte kann mit Hilfe des Satzes des Pythagoras wie folgt berechnet werden:

$$d(p_1, p_2) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2} \quad (3.8)$$

Die Abbildung 5.9 veranschaulicht drei Fälle, die auftreten können, in denen der Punkt mit dem geringsten Abstand jeweils mit b bezeichnet wird und der ursprüngliche Punkt auf der Grenze mit a . Aus den Abständen beider Punkte zum Mittelpunkt m kann wie folgt ein Skalierungsfaktor ermittelt werden:

$$s = \frac{d(b, m)}{d(a, m)} \quad (3.9)$$

Mittels dieses Skalierungsfaktors s , mit $0 \leq s \leq 1$, wird die ursprüngliche Distanz d des Dreiecks skaliert und die beiden Punkte des Dreiecks somit neu berechnet (Siehe (3.3) und (3.4)). Für den unteren Halbkreis erfolgt daher eine Skalierung der x- und y-Werte von $\frac{s \cdot d}{2}$ anstatt $\frac{d}{2}$ und für die obere Ellipse eine Skalierung von $\frac{s \cdot d}{2}$ der x-Werte, bzw. $s \cdot d$ der y-Werte beider Punkte. Die gestrichelte Linie bildet dabei die neue Grenze für das jeweilige Dreieck.

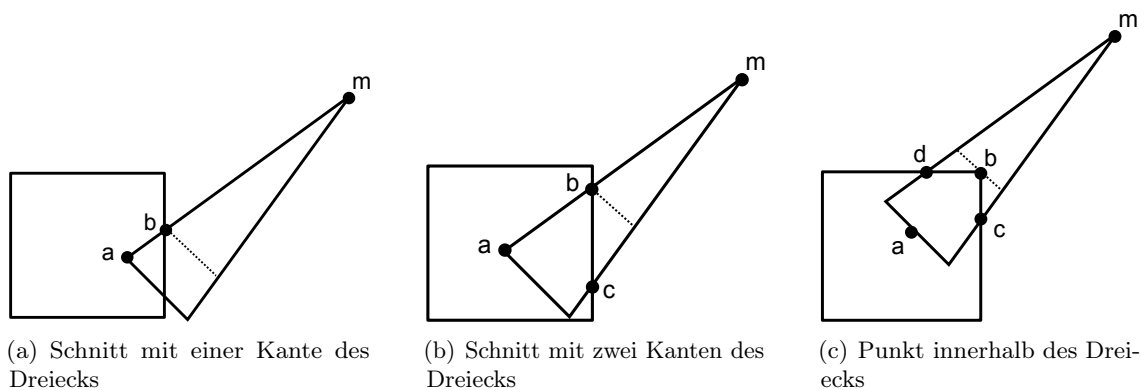


Abbildung 5.9 – Ermittlung der neuen Distanz eines Dreiecks

Mittels des Skalierungsfaktors, der bei der Verformung der größten Zone ermittelt wurde, ist es nun ebenfalls möglich, die Distanzen aller Punkte kleinerer Zonen neu zu ermitteln

und somit auch eine Stauchung, wie sie in Kapitel 3 als mögliche Variante neben einer Abscheidung des Raums genannt wurde, umzusetzen. Der Vorteil dieser Verformung liegt einerseits in der Einhaltung der sich vom Mittelpunkt des Raums ausbreitenden Dreiecke und andererseits darin, dass die Anzahl der Punkte, die das verformte Polygon beschreiben, gleich mit der ursprünglichen Anzahl des unverformten Raums ist. Für geringe Auflösungen des Raums kommt es vor, dass die Grenzen des verformten Polygons sehr eckig ausfallen. Diesem kann durch eine Erhöhung der Auflösung des Polygons entgegengewirkt werden, wobei durch dieses Verfahren gerade an längeren Kanten wie Wänden, diese unruhigen Grenzen kaum zu vermeiden sind. Eine Möglichkeit, diesem entgegenzuwirken ist es, in dem Fall, dass zwei der Kanten des Dreiecks von derselben Kante des Vierecks geschnitten werden (siehe Abbildung 5.9 (b)) eine Kante bis zu dem Punkt b zu skalieren und die andere bis zu dem Punkt c .

Weitere Optimierungsmaßnahmen bei dieser diskreten Verformung wären in bestimmten Konstellationen mit einer Überschneidung von Dreieck und Viereck verbunden. Man könnte beispielsweise in dem Fall, dass nur eine Kante des Dreiecks geschnitten wird, wie es Abbildung 5.9 (a) zeigt, diese Kante bis zu dem Punkt b skalieren und die andere Kante bei ihrer ursprünglichen Distanz belassen. Wie die Abbildung 5.10 (a) darstellt, verlief die neue äußere Grenze des Dreiecks zwischen a und b und kann somit zu einer Überschneidung der beiden Formen (grauer Bereich) führen. Der Fall, der in Abbildung 5.9 (c) veranschaulicht wird, indem der Eckpunkt des Vierecks innerhalb des Dreiecks liegt, könnten anstatt des Punkts b , die Punkte c und d für die Skalierung der jeweiligen Kanten berücksichtigt werden. Dieses würde aber, wie die Abbildung 5.10 (b) zeigt, ebenfalls eine Überschneidung der beiden Formen nach sich ziehen können.

Ein abweichender Ansatz für eine präzisere Verformung wäre mit dem Nachteil verbunden, dass das jeweilige Dreieck um weitere Grenzpunkte erweitert werden müsste und es somit in ein Polygon umzuwandelt wird. Hierbei ist die Anzahl der neu hinzukommenden Punkte abhängig von der Anzahl der Vierecke, die das ursprüngliche Dreieck verformen sollen. Die Abbildung 5.10 (c) zeigt zwei Vierecke, deren Eckpunkte innerhalb des Dreiecks liegen. Neben der Verschiebung der beiden Punkte auf den Kanten müssten drei weitere Punkte hinzugefügt werden. Das heißt, jeweils der Eckpunkt, sowie ein Schnittpunkt zwischen beiden Vierecken.

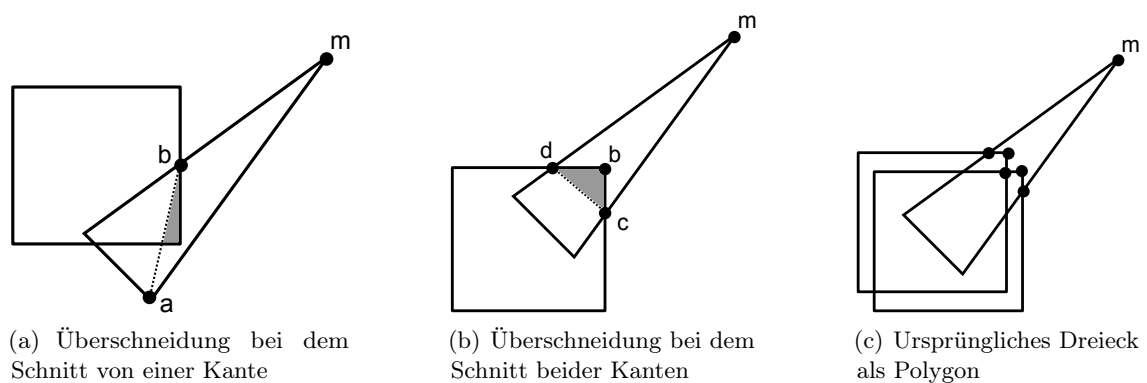


Abbildung 5.10 – Überschneidung der Formen

6 Die Umsetzung

6.1 Vorstellung des Animationswerkzeugs

Das Animationswerkzeug ist eine Java-Anwendung zur Erstellung und dem Abspielen von Animationsszenen bestehend aus zweidimensionalen geometrischen Objekten. Die Entwicklung des Tools fand im Wintersemester 2010/2011 im Rahmen des Projekts „Animationswerkzeug zur Visualisierung sozialen Handelns“ an der Universität Hamburg im Arbeitsbereich *Wissens- und Sprachverarbeitung (WSV)* innerhalb des Fachbereichs Informatik statt.

Der wissenschaftliche Hintergrund für den Nutzen des Einsatzes sind Untersuchungen, die gezeigt haben, dass Menschen in sich bewegende geometrischen Formen soziale Handlungen hineininterpretieren [16]. Diese Tatsache soll genutzt werden, um mit dem Animationswerkzeug Situationen in der Mensch-Roboter-Interaktion zu simulieren und diese Szenen für Befragungen von Probanden zu nutzen.

Aus Sicht der Softwaretechnik ist es eine in Eclipse entwickelte *Rich Client Platform (RCP)*-Plugin Anwendung, die mittels dem *Graphical Editing Framework (GEF)* umgesetzt wurde. Das Speicherformat der Animationsszenen entspricht dem SVG-Standard.

6.1.1 GEF

Das *Graphical Editing Framework (GEF)* ist ein open source Java-Framework, das eine große Bandbreite an Funktionalität für die Entwicklung von rich-client-Editoren bietet und somit die Entwicklungszeit von grafischen Editoren erheblich verkürzen soll. Es ist Teil des Eclipse Tools Project [27] und derzeit in der Version 3.7.0 verfügbar.

GEF setzt auf der *RCP* Eclipse auf und profitiert aus diesem Grund vorweg von Vorzügen, wie ausgereiften Basiskomponenten für GUI-Anwendungen, die sich bereits in vielen Anwendungsfällen bewährt haben, die daraus resultierenden gefestigten Grundstrukturen, sowie die Modularität und Erweiterbarkeit durch das Plug-in-Konzept, auf die die *RCP* ausgelegt ist.

6.1.2 SVG/SMIL

Scalable Vector Graphics (SVG) ist ein Vektorgrafikstandard, der im Jahr 2001 von dem *World Wide Web Consortium (W3C)* verabschiedet wurde. Er basiert auf der *Extensible Markup Language (XML)* und befindet sich momentan in der Version 1.1. Das Format

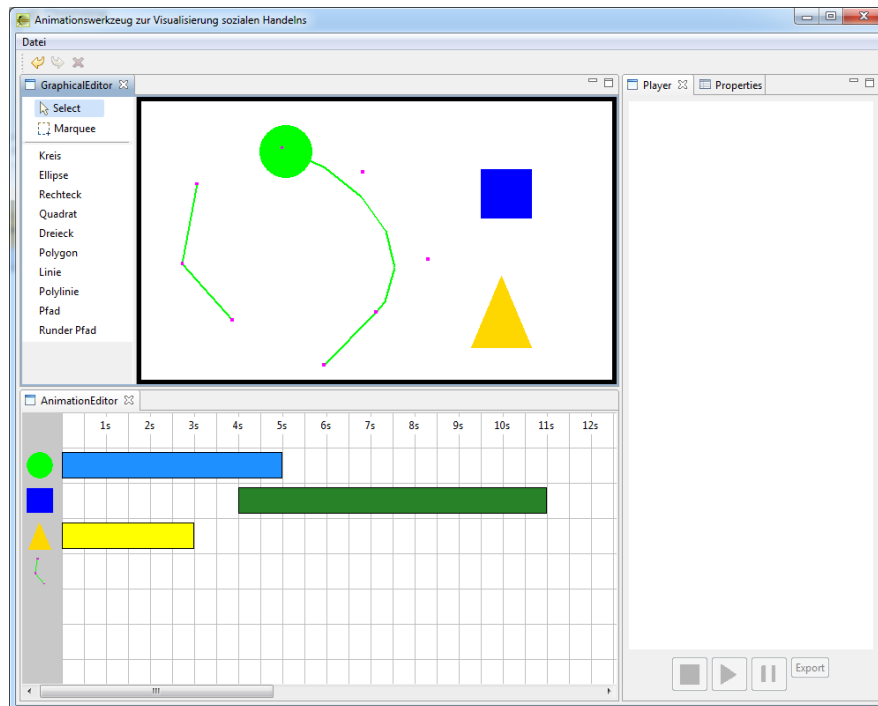


Abbildung 6.1 – Screenshot von dem Animationswerkzeug

ermöglicht mittels Textdateien verlustfreie Vektorgrafiken zu entwickeln, die mittlerweile in fast allen gängigen Internet-Browsern dargestellt werden können. Die Vorteile sind sehr kleine Dateigrößen, da sie nur aus Text bestehen und die Beibehaltung der Qualität bei der Skalierung der Grafiken. Eine ausführliche Dokumentation ist auf der *W3C*-Website [28] zu finden.

Ein weiterer Vorteil, der das *SVG*-Format von vielen Standards zur Speicherung von Bilddaten abhebt, ist die Möglichkeit die beschriebenen grafischen Objekte zu animieren. Dieses geschieht mit Hilfe der eingebetteten *Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL)* [29], die ebenso *XML*-basiert, momentan in der Version 3.0, direkt in die Beschreibung der *SVG*-Elemente einfließen kann und eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Einbindung von Multimediainhalten, sowie deren Animation bietet.

6.2 Grundobjekte im Modell des Animationswerkzeugs

Das Modell des Animationswerkzeugs beinhaltet bisher geometrische Formen und Animationen. Die herausgearbeiteten Grundobjekte, das soziale Objekt und der soziale Raum, besitzen zwar beide eine geometrische Form, sind aber von der Semantik her eigenständige Objekte. Des weiteren können zum Beispiel Roboter oder Räume, wie das Territorium, unterschiedliche Formen besitzen. Aus diesem Grund muss vorerst ein neues Knotenobjekt geschaffen werden, dass diesen Anforderungen genüge trägt.

Für die Unterscheidung von gleichartigen Objekten ist es nötig, diese mit einer Beschriftung zu versehen. So können zum Beispiel zwei Möbelstücke mit der Form eines Vierecks als Tisch oder Schrank identifiziert werden. Diese Eigenschaft kann bereits dem vorhandenen abstrakten Knoten zugeordnet werden und somit besteht die Möglichkeit, jedes im Modell existierende Objekt zu beschriften.

6.2.1 Der abstrakte soziale Knoten

Der abstrakte soziale Knoten ist die Oberklasse, von der alle weiteren benötigten Klassen an Grundtypen erben. Die Klasse selbst erbt von einem abstrakten Knoten, um den einheitlichen Aufbau des Modells als Baumstruktur zu gewährleisten. Der Aufbau entspricht dem Adapter-Entwurfsmuster, indem sie eine geometrische Form als Exemplarvariable hält und die Schnittstellen der Form implementiert und nur bestimmte Operationen zur Veränderung des Erscheinungsbilds an die Form delegiert. Des weiteren besitzt ein sozialer Knoten eine Operation zum Wechseln seiner Form. Dieses hat den Vorteil, dass man im Animationswerkzeug zum Beispiel ein Möbelstück mit der Grundform eines Rechtecks erstellen und anschließend zur Laufzeit die Form als Kreis ändern kann. Die Abbildung 6.2 zeigt das Klassendiagramm für den abstrakten sozialen Knoten.

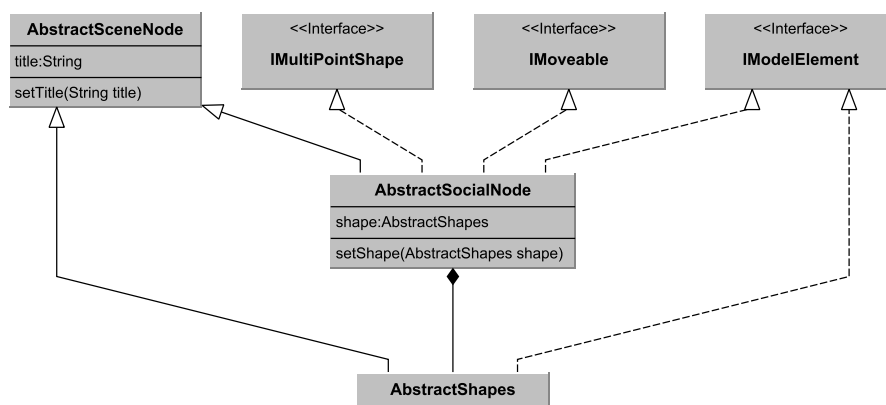


Abbildung 6.2 – Klassendiagramm für den abstrakten sozialen Knoten

GEF erstellt durch seine *Model-View-Controller (MVC)*-Architektur für ein Objekt des Modells einen Controller, auch *EditPart* genannt und dieser erschafft wiederum eine *Draw2D* Figur für das Anzeigen der geometrischen Form im Editor. Der *EditPart* übernimmt also die Funktion bei jedem neuen Zeichnen der Figur zu überprüfen, ob sich die Form in dem sozialen Knoten geändert hat und muss bei einer Änderung, eine neue Figur mit den gleichen Ausmaßen der alten erstellen. Das ist der Grund, weshalb das Wechseln auch nur zwischen bestimmten geometrischen Formen Sinn macht. Das sind die Formen Kreis, Ellipse, Rechteck, Quadrat und Dreieck. Diese können alle durch ein sie umgebendes Rechteck beschrieben werden. Bei der Umwandlung von zum Beispiel einem Rechteck zu einer Line würde man durch die Maße des Rechtecks keine eindeutige Linie erhalten. Es könnte eine Line sein, die vom unterem linken Punkt zum oberen rechten Punkt verläuft oder aber auch eine vom unteren rechten zum oberen linken Punkt.

Der EditPart und seine Figur werden bei ihrer initialen Erstellung aneinander gebunden und aus diesem Grund bedarf es eines kleinen Umwegs, um einen dynamischen Wechsel der Figur ermöglichen zu können. Dafür ist die Figur, die vom EditPart erstellt wird, nicht die Figur, die die Form im sozialen Knoten normalerweise hervorrufen würde, sondern nur eine transparente Figur mit entsprechenden Ausmaßen, die als Behälter fungiert. Das heißt, dass die Figur, die angezeigt werden soll und die eigentliche Form darstellt, diesem Behälter dynamisch als Kind angehängt wird und somit im Editor nur das Kind zu sehen ist. Die Abbildung 6.3 zeigt den Wechsel zwischen verschiedenen Formen als Kinder, bei gleichbleibendem Behälter. Die Veränderung der Größe mittels des Selektionswerkzeugs im Grafikeditor erfolgt dabei über den Behälter, der seine Ausmaße stets an sein Kind weitergibt.

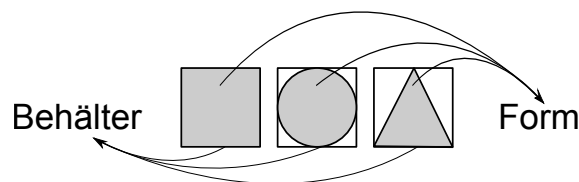


Abbildung 6.3 – Formen innerhalb der Behälterfigur

Nachdem die *GEF*-spezifische Vorgehensweise für das Halten der sozialen Knoten im Modell, sowie deren Darstellung im Editor erläutert wurde, bleibt noch die Speicherung der Objekte in dem *SVG*-Dokument. Bisher werden die Knoten der geometrischen Formen als ihr entsprechendes *SVG*-Element gespeichert. Das heißt, ein Kreis Objekt wird als Circle-Element in das *SVG*-Dokument eingefügt und beim Laden wird umgekehrt wieder ein Kreis als Objekt erstellt.

Für soziale Knoten, wie zum Beispiel einem Menschen oder einer Wand gibt es kein entsprechendes *SVG*-Element. Daher muss neben dem Titel, der frei wählbar und eher für die Unterscheidung der Objekte im Editor gedacht ist, eine weitere Eigenschaft für die Zuordnung von *SVG*-Elementen zu ihren Objekttypen im Modell hinzugefügt werden.

Hierfür bietet sich das DESC-Element aus dem *SVG*-Standard an. Es können beliebig viele dieser DESC-Elemente einem Element zugeordnet werden und daher bietet es sich neben der Beschreibung des Objekttyps auch zum Speichern von Eigenschaften bestimmter Typen an, wie zum Beispiel, ob ein soziales Objekt für soziale Räume durchlässig ist oder nicht.

Das Modell des Animationwerkzeug ist, wie bereits erwähnt, als eine Baumstruktur aufgebaut. Genauso verhält es sich mit dem Aufbau der Draw2D Figuren, die aus dem Modell generiert werden. Der *SVG*-Standard sieht entgegen dessen keine Verschachtelung von geometrischen Elementen vor. Um dennoch eine Baumstruktur in einem *SVG*-Dokument abbilden zu können, bedarf es dem g-Element für Gruppen. Mithilfe dessen eine neue Zeichenfläche für jede neue Gruppe geöffnet wird und somit eine Verschachtelung möglich ist. Ein weiterer Vorteil des g-Elements ist es, dass man alle untergeordneten Elemente mit einer einzigen Animation, die der übergeordneten Gruppe zugeordnet ist, animieren kann. Desweiteren ist es denkbar, dass ein Objekt im Modell aus mehreren Formen besteht.

Diese Formen können dann in einer Gruppe zusammengefasst werden und als ein Objekt mittels des DESC-Elements als Kind der Gruppe identifiziert werden.

Zusammengefasst besteht ein sozialer Knoten im *SVG*-Dokument also aus einer Gruppe, die die Form, einen Titel, die Eigenschaften und die Animationen als Kinder enthält, wie es an einem Beispiel im Quelltext 6.1 veranschaulicht wird.

```

1 <g>
2   <circle ... />
3   ...
4   <title>Mensch 1</title>
5   <desc>Type=Social:Object:Agent:Human</desc>
6   ...
7   <animate ... />
8   ...
9 </g>

```

Quelltext 6.1 – Beispiel für den Aufbau eines Menschen im SVG-Dokument

6.2.2 Das abstrakte soziale Objekt

Die sozialen Objekte erben von dem abstrakten sozialen Objekt, welches wiederum von dem abstrakten sozialen Knoten erbt. Gemeinsame Eigenschaften, die als DESC-Element gespeichert werden müssen sind einerseits die sozialen Räume, die ihnen zugeordnet sind, was für eine Positionsänderung eines sozialen Objekts benötigt wird. Andererseits die Eigenschaft, ob sie durchlässig für soziale Räume sind. Des weiteren entspricht die Abstammung der spezifizierten Klassen entsprechend der in Abschnitt 5.1 herausgearbeiteten Kategorisierung, wie das Klassendiagramm in Abbildung 6.4 zeigt. Im Hinblick auf die Animationen von sozialen Objekten, werden im Animationseditor nur die Agenten aufgelistet und können somit bewegt werden.

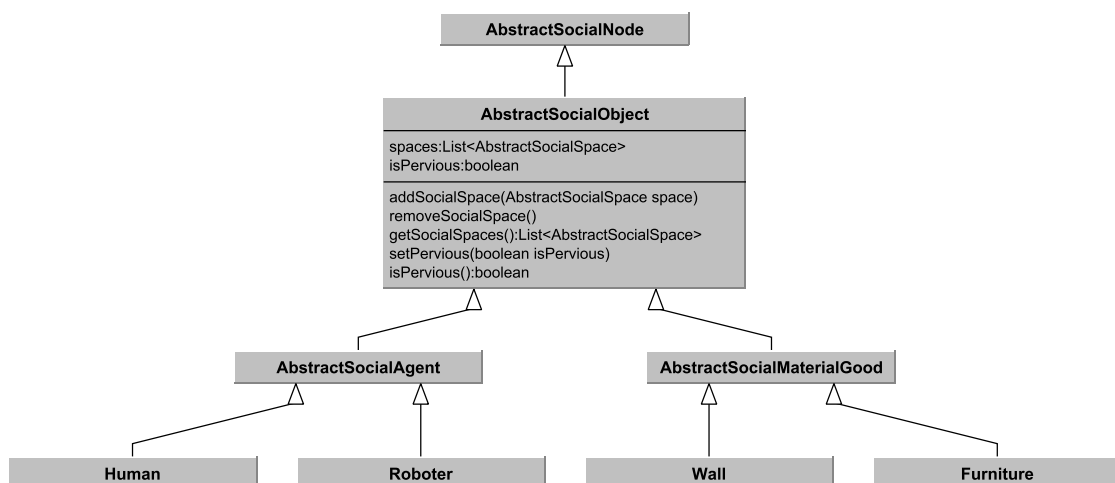


Abbildung 6.4 – Klassendiagramm für das abstrakte soziale Objekt

6.2.3 Der abstrakte soziale Raum

Den zweite Grundtyp bildet der abstrakte soziale Raum, der ebenfalls von dem abstrakten sozialen Knoten erbt. Der Raum kennt seine ihm zugeordneten sozialen Objekte. Dieses hat performante Vorteile, da bei einer Manipulation des Raums nicht alle soziale Objekte in der Szene gefragt werden müssen, ob sie dem Raum zugeordnet sind. Für die Speicherung im SVG-Dokument reicht einzig die einseitige Zuweisung.

Der vorerst als einziger Raum zu implementierende persönliche Raum erbt von dem abstrakten graduellen Raum. Ein abstrakter gradueller Raum besitzt eine Baumstruktur, in der der größte von den Ausmaßen seiner Form unter ihnen die Wurzel bildet und der nächst kleinere jeweils ein Kind ist. Aus diesem Grund benötigt er Methoden, für die Identifizierung dieser Wurzel und führt bestimmte Operationen auf alle untergeordneten Räume aus. Die Abbildung 6.5 zeigt das Klassendiagramm dieser Abstammung.

Die Form der Zone eines persönlichen Raums ist, wie in Kapitel 5.3.1 beschrieben, ein Polygon, welches in dem jeweiligen Objekt der Zone berechnet wird und anschließend an die Draw2D-Figur als Liste von Punkten weitergeleitet wird. Ein Beispiel für die Speicherung aller Zonen eines persönlichen Raums kann dem Quelltext 6.2 entnommen werden. Für die Zuordnung des Raums zu seinem Besitzer, muss ein Raum über eine Id identifizierbar sein. Die Funktionalität für das Setzen dieser Id ist bereits in einer der Oberklassen, dem abstrakten Knoten, implementiert.

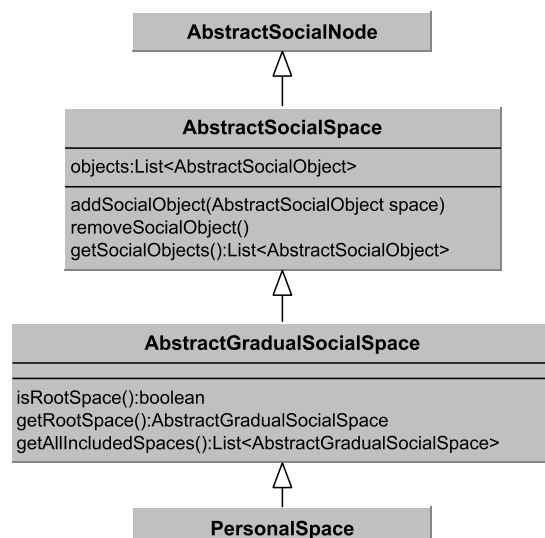


Abbildung 6.5 – Klassendiagramm für den abstrakte sozialen Raum

```

1 <g id="PSP1">
2   <polygon ... />
3   <title>öffentliche Zone</title>
4   <desc>Type=Social:Space:Personal</desc>
5   <g id="PSP2">
6     <polygon ... />
7     <title>soziale Zone</title>
8     <desc>Type=Social:Space:Personal</desc>
9     <g id="PSP3">
10      <polygon ... />
11      <title>persönliche Zone</title>
12      <desc>Type=Social:Space:Personal</desc>
13      <g id="PSP4">
14        <polygon ... />
15        <title>intime Zone</title>
16        <desc>Type=Social:Space:Personal</desc>
17      </g>
18    </g>
19  </g>
20  <animate ... />
21  ...
22 </g>

```

Quelltext 6.2 – Beispiel für den Aufbau eines persönlichen Raums im SVG-Dokument

6.2.4 Aufbau des erweiterten Modells

Der bisherige Aufbau des Modells des Animationswerkzeugs besteht aus einer Szene als Wurzel, dessen Kinder die geometrischen Formen darstellen und dessen Kinder wiederum deren Animationen beschreiben. Mit der gleichen Baumstruktur werden von *GEF* die Draw2D Figuren im Editor angezeigt.

Die neu geschaffenen sozialen Objekte verhalten sich dementsprechend, das heißt, dass sie Kinder der Szene sind und ihre Animationen ebenfalls als Kinder halten. Für den persönlichen Raum hingegen gilt dieses nur für die größte Zone. Alle kleineren Zonen sind entsprechend ihrer Ordnung aus 5.3 als Kind der nächst größeren Zone definiert. Das heißt für einen persönlichen Raum mit den vier Hauptzonen, ist die öffentliche Zone ein Kind der Szene, die soziale ein Kind der öffentlichen Zone, die persönliche ein Kind der sozialen Zone und die intime ein Kind der persönlichen Zone. Diese Struktur innerhalb des Modells ist in Abbildung 6.6 dargestellt.

Die Vorteile dieser Struktur sind einerseits die Darstellung des persönlichen Raums als Draw2D Figur, in der man sich nicht mehr um die Reihenfolge der Darstellung der Zonen zu kümmern braucht, da eine Zone immer über ihrer nächst größeren, dem jeweiligen Vaterknoten im Modell, gezeichnet wird. Des Weiteren besitzt, dank dieser Struktur, jede Zone einen eigenen EditPart und kann somit im Editor selektiert werden und lässt sich durch das Eigenschaftsfenster zum Beispiel farblich verändern. Ein weiterer Vorteil ist es, dass nur die größte Zone eines persönlichen Raums einem Menschen zugeordnet

werden muss. Alle untergeordneten Zonen können somit über ihre Wurzel ihren zugehörigen Menschen identifizieren.

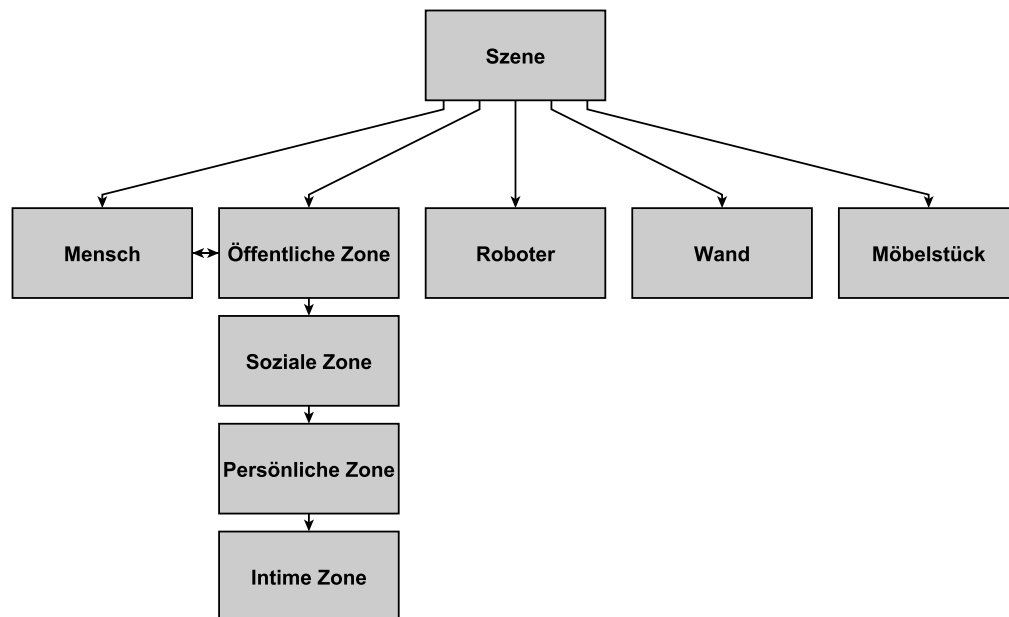


Abbildung 6.6 – Einordnung der sozialen Knoten in der Baumstruktur des Modells des Animationswerkzeugs

6.3 Tool zur Erstellung eines persönlichen Raums

Den Beginn einer Erstellung eines persönlichen Raums zu einem Menschen geschieht im Grafikeditor über ein Kontextmenü des jeweilig selektierten Menschen. In dem sich anschließend öffnendem Dialog kann die Auflösung für die Einteilung sämtlicher Zonen des zu generierenden persönlichen Raums festgelegt werden. Die einzelnen Zonen werden in einer Liste gehalten, die die zuvor genannte Struktur der Zonen widerspiegelt. Eine Zone muss mittels eines Titels und einer Distanz definiert werden. Innerhalb der Liste können einzelne Zonen gelöscht oder auch hinzugefügt werden und bei einer Bestätigung wird die Struktur im Modell entsprechend der Struktur in der Liste erstellt. Über das Eigenschaftsfenster kann die Struktur jederzeit zur Laufzeit verändert werden, wie es die Abbildung 6.7 zeigt.

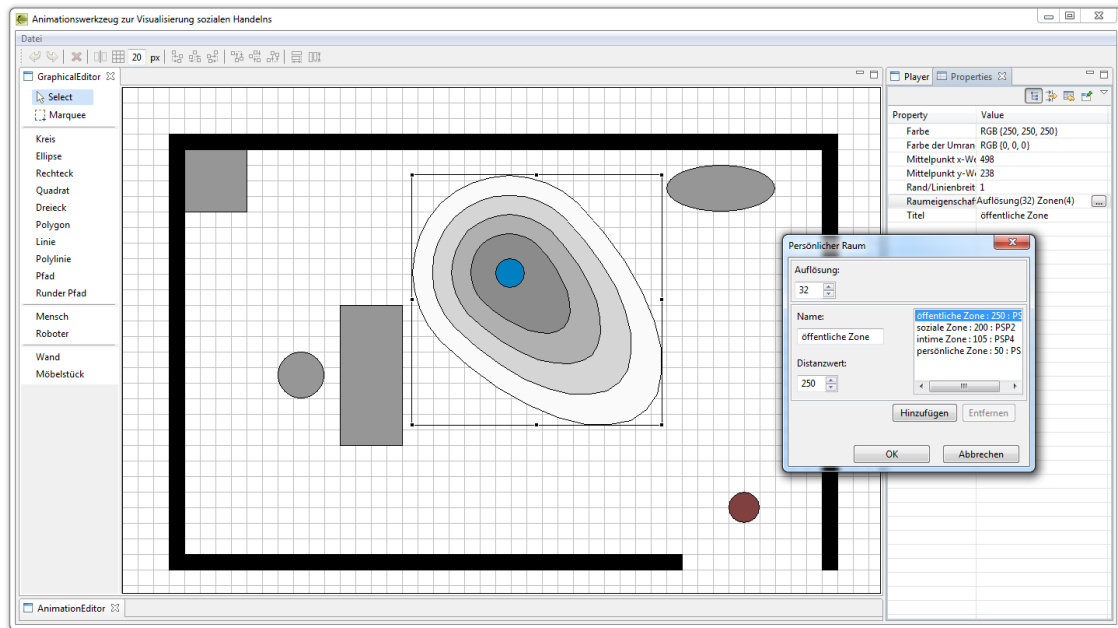


Abbildung 6.7 – Screenshot von dem erweiterten Animationswerkzeug

7 Fazit

In dieser Bachelorarbeit wurde das Konzept des persönlichen Raums als geometrisches Modell in ein Animationswerkzeug implementiert.

Dabei wurde mit der Beschreibung der historischen Entwicklung des Raumbegriffs begonnen und die Entstehung von sozialen Räume im soziologischen Kontext ermittelt. Aus diesen Untersuchungen kristallisierten sich zwei Objekte heraus, die an der Entstehung und den Ausmaßen von sozialen Räumen beteiligt sind. Diese sind einerseits Lebewesen und andererseits soziale Güter.

Anschließend wurde ein Modell des persönlichen Raums als eine Art der sozialen Räume vorgestellt, das durch Distanzen beschrieben wird. Diese graduelle diskrete Struktur wird durch Zonen dargestellt, in denen bestimmte zwischenmenschliche Handlungen ausgeführt werden. Dabei besitzen die Zonen einen Intimitätsgrad der mit der Annäherung an den Menschen steigt. Bestimmte Zonen sind somit nur für die Handlung mit vertrauten Menschen vorgesehen und beeinflussen durch ihr Betreten von fremden Personen das Wohlbefinden negativ.

Diese Konflikte, die bei dem Betreten Fremder in eine für sie nicht vorgesehene Zone auslösen, werden ebenfalls in der Interaktion zwischen Menschen und sozialen Robotern festgestellt. Dabei existieren mehrere Ansätze, diese Konflikte zu vermeiden. Zwei Vermeidungsstrategien wurden vorgestellt und aufbauend eines der Ansätze zwei Anwendungsszenarien entwickelt, die für eine Befragung von Probanden über adäquates Verhalten von Robotern im Umgang mit dem persönliche Raum dienen könnten.

Für die Umsetzung solcher Szenarien konnte ein Modell entwickelt werden, welches die benötigten Objekte Mensch, Roboter, Wand und Möbelstück, sowie den persönlichen Raum enthält. Der persönliche Raum wurde dabei als flexibles diskretes geometrisches Modell umgesetzt, welches eine graduelle Struktur besitzt und durch eine Anzahl an Zonen und ihrer Distanzen beschrieben werden kann. Des Weiteren kann das Polygon, welches als Form einer Zonen dient, mit einer variablen Anzahl an Kanten dargestellt werden. Durch die Distanzen kann außerdem eine Ordnung der Zonen hergestellt werden, mittels der der Grad der Intimität einer Zone innerhalb der Struktur ermittelbar ist. Das Modell des persönlichen Raums lässt sich zudem verformen, um den Einschränkungen in seiner Ausdehnung zum Beispiel durch Wände gerecht zu werden, wobei sich nach der Implementation herausstellte, dass das benutzte Verfahren zur Verformung in seiner ursprünglichen Form erst bei einer sehr hohen Auflösung des Raums annähernd die gewünschten Ergebnisse hervorbrachte. Aus diesem Grund stehen die genannten Optimierungsmaßnahmen noch aus.

Das Modell des persönlichen Raums und die weiteren Objekte konnten in das Modell des Animationswerkzeugs integriert werden. In dem Zuge wurde eine neue Art von Element

für das Modell geschaffen, welches durch eine vorhandene geometrische Form im Editor dargestellt, aber in ihrer Semantik ein eigenständiges Objekt losgelöst von ihrer Form widerspiegelt. So ist es möglich gleichartige Objekte, wie Möbelstücke als unterschiedliche geometrische Formen darstellen zu lassen und diese Form bei Bedarf zur Laufzeit zu ändern. Der persönliche Raum wurde gemäß seines geometrischen Modells implementiert, wobei seine graduelle Struktur in einer Baumstruktur innerhalb des Modells des Animationswerkzeugs umgesetzt wurde. Die Bewegungsanimation der neuen Objekte, sowie des persönlichen Raums, kann entsprechend der vorhandenen Animationsfunktion erfolgen. Während der Entwicklung wurde das Animationswerkzeug zusätzlich um allgemeine Funktionalitäten erweitert. Das betrifft die Möglichkeit zum Einblenden eines Rasters innerhalb des Grafikeditors, sowie diverser Möglichkeiten zur Ausrichtung von Objekten. Außerdem wurde für alle Elemente des Modells die Funktion implementiert, eine Beschreibung zu vergeben, die in den Editoren als Tooltip zur Verfügung stehen. Dieses macht die Unterscheidung von gleichartigen Objekten übersichtlicher.

Abschließend führen die getätigten Änderungen an dem Animationswerkzeug dazu, dass die entwickelten Szenarien anwenderfreundlich erstellt, sowie ähnliche Szenarien, die aus einer Kombination der neuen Objekte bestehen, geschaffen werden können. Des Weiteren wurden Grundlagen innerhalb des Modells des Animationswerkzeugs für die zukünftige Erweiterung um zusätzliche Arten von sozialen Räumen geschaffen.

7.1 Ausblick

Nachfolgend wird ein Ausblick über mögliche Erweiterungen des bestehenden Modells des persönlichen Raums gegeben, dessen Nutzen für weiterer sozialer Räume erläutert, sowie Ansätze für die Implementation neuer Funktionen für das Animationswerkzeug genannt.

Verformung des persönlichen Raums durch weitere geometrische Formen

Die bisherige Verformung des persönlichen Raums geht davon aus, dass Objekte, die den Raum verformen, durch ein sie umgebenes Rechteck beschrieben werden. Die geometrischen Formen des Modells des Animationswerkzeugs geben zwar ihr Layout als Rechteck zurück, doch wäre es denkbar die tatsächlich darin enthaltene Figur als Grundlage für die Verformung anzusetzen. Dieses würde speziell die Formen Kreis, Ellipse, Dreieck und Polygon betreffen.

Verformung während einer Bewegungsanimation

Die bisherige Implementation berücksichtigt die Verformung des persönlichen Raums nur zu dem Zeitpunkt einer Szene, der im Grafikeditor angezeigt wird. Das ist der Beginn einer Szene zum Zeitpunkt 0 Sekunden. Für die entwickelten Anwendungsszenarien, in denen der Mensch eine feste Position einhält ist dieses ausreichend. Sollte aber für zukünftige Anwendungsszenarien eine Szene erstellt werden, in der sich auch der Mensch bewegt, so

müsste sich dessen persönlicher Raum stetig über die Zeit seiner Umgebung anpassen. Dieses gestaltet sich aufgrund der Erstellung einer Bewegungsanimation nach dem *SVG*-Standard als größerer Aufwand.

Eine Bewegungsanimation wird durch ihren Pfad, der gerade oder abgerundet verlaufen kann, und die Dauer definiert. Außerdem kann die Bewegung in Intervalle aufgeteilt und die Geschwindigkeit zwischen den Intervallen modifiziert werden. Mittels dieser Attribute wird eine zusammenhängende Bewegungsanimation berechnet. Nachfolgend wird ein Ansatz beschrieben, wie eine Verformung über die Zeit für einen persönlichen Raum berechnet werden könnte.

Zuerst könnte die Anzeige von Objekten im Grafikeditor abhängig davon sein, welchen Zeitpunkt einer Szene man gerade betrachtet. Das heißt, dass die Position aller sich bewegend Objekte zu einer jeweiligen diskreten Auflösung der Gesamtzeit, beispielsweise 1 Sekunde, berechnet werden. Nun hätte man genauere Positionen zwischen dem Start- und Endpunkt eines Pfades, auf dem sich ein Mensch und sein persönlichen Raums bewegen.

Das geometrische Modell einer Zone des persönlichen Raums besitzt einen Mittelpunkt und eine von der Auflösung abhängige Anzahl an Punkten, die die Ausmaße beschreiben. Es wäre möglich, Pfade zu definieren, die zwischen jeweils einem Punkt auf der Grenze der Zone und dem Mittelpunkt verlaufen. Zu jeder Sekunde könnten dann die Punkte einer Zone von ihrer derzeitigen Position und der daraus entstehenden Verformung berechnet werden und von jedem Zeitpunkt zu dem nächsten Zeitpunkt, also zur nächsten Sekunde, auf dem Intervall ihres jeweiligen Pfads animiert werden.

Dieses würde zwar keine absolut getreue Verformung ergeben, da während der Bewegung innerhalb von einer Sekunde die Richtung sich bei hohen Geschwindigkeiten mehrmals ändern könnte. Es wäre aber möglich, durch eine Einteilung der Gesamtzeit in kleinere Intervalle, zum Beispiel Millisekunden, sich einer stetigen Verformung mehr anzunähern.

Die Implementation weiterer sozialer Räume

Der penetrierende Raum besitzt ebenso, wie der persönliche Raum, eine graduelle Struktur. Aus diesem Grund könnte das geometrische Modell des persönlichen Raums gegebenenfalls als Modell eines penetrierenden Raums nutzbar sein. Die Frage, ob ein penetrierender Raum nur abgerundete Ausmaße, wie ein Kreis, Ellipse oder Oval besitzt, bleibt dabei näher zu untersuchen. Sollten auch andere Formen der Regionen infrage kommen, müsste das geometrische Modell der Form einer einzelnen Region in der graduellen Struktur dementsprechend verändert werden.

Für das Territorium, den Affordanzraum, sowie den Aktivitätsraum wären ebenso weitere Formen, aber auch abweichende Strukturen vorhanden und zu entwickeln. Die Darstellung unterschiedlicher Formen ist dabei innerhalb des Modells des Animationswerkzeugs durch die Tatsache, dass ein sozialer Raum ein abstrakter sozialer Knoten ist, durchaus gegeben.

Literaturverzeichnis

Bücher

- [1] BÄRBEL INHELDER, JEAN PIAGET UND: *Die Entwicklung des räumlichen Denkens beim Kinde*. Klett Verlag, 1975.
- [2] ELIAS, NORBERT: *Über die Zeit. Arbeiten zur Wissenssoziologie II*. Suhrkamp Verlag, 1984.
- [3] HALL, EDWARD T.: *The Hidden Dimension*. Anchor Books, 1990.
- [4] HEDIGER, HEINI: *Beobachtungen zur Tierpsychologie im Zoo und im Zirkus*. Reinhardt Verlag, 1961.
- [5] KANT, IMMANUEL: *Kritik der reinen Vernunft*. Reclam Verlag, 1986, orig. 1781.
- [6] LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM: *Streitschriften zwischen Leibniz und Clark*. Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie, Band 1. Meiner, 1966, orig. 1715/1716. Übers. von A. Buchenau. Durchges. u.m. Einl. u. Erl. hrsg von Ernst Cassirer.
- [7] LÄPPLE, DIETER: *Essay über den Raum : für ein gesellschaftswissenschaftliches Raumkonzept*. Technische Univ., Hamburg, 1992. Forschungsprojekt Strukturwandel und Innovation in der Wirtschaftsregion Hamburg , Diskussionsbeitr. Nr. 12 , S. 158 - 207.
- [8] LÖW, MARTINA: *Raumsoziologie*. Suhrkamp Verlag, 2001.
- [9] NEWTON, ISAAC: *Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie: Philosophiae naturalis principia mathematica*. Academia Verlag, 2007, orig. 1687. Ausgewählt, übersetzt, eingeleitet und herausgegeben von Ed Dellian.
- [10] PAPULA, LOTHAR: *Mathematische Formelsammlung: für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. Vieweg+Teubner, 2009.
- [11] SHOZO, S.:
Comfortable distance between people: Personal Space.
Japan Broadcast Publishing Company Ltd., 1990.
- [12] SOMMER, ROBERT: *Personal Space: Behavioural Basis of Design*. Prentice Hall, 1969.

Manuskripte

- [13] ANDREAE, THOMAS:
Diskrete Mathematik: für Studierende der Informatik und Wirtschaftsinformatik, Teil 2, 2008. Universität Hamburg.

Artikel

- [14] AMAOKA, TOSHITAKA, HAMID LAGA und MASAYUKI NAKAJIMA:
Modeling the Personal Space of Virtual Agents for Behavior Simulation. In:
International Conference on CyberWorlds 2009, Seiten 364 – 370.
doi:10.1109/CW.2009.19.
- [15] FRIEDMAN, DORON, ANTHONY STEED und MEL SLATER: *Spatial social behavior in second life*. In: *In Intelligent Virtual Agents*, 2007. doi:10.1007/978-3-540-74997-4_23.
- [16] HEIDER, FRITZ und MARIANNE SIMMEL:
An Experimental Study of Apparent Behavior.
The American Journal of Psychology, 57(2):243–259, 1944.
- [17] KENNEDY ET AL., DANIEL P:
Personal space regulation by the human amygdala.
Nature Neuroscience, 12:1226 – 1227, 2009. doi:10.1038/nn.2381.
- [18] LINDNER, FELIX und CAROLA ESCHENBACH:
Towards a Formalization of Social Spaces for Socially Aware Robots. In Egenhofer, M.J.; Giudice, N.; Moratz, R.; Worboys, M. (Eds.), *Proceedings of the 10th International Conference on Spatial Information Theory, COSIT 2011, Belfast, ME, USA*.
- [19] NAKAUCHI, YASUSHI und REID SIMMONS: *A Social Robot that Stands in Line*. In: *in Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Seiten 357–364, 2000. doi:10.1109/IR0S.2000.894631.
- [20] PACCHIEROTTI, E, H I CHRISTENSEN und P JENSFELT: *Human-Robot Embodied Interaction in Hallway Settings: a Pilot User Study*. ROMAN 2005 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication 2005, Seiten 164–171, 2005. doi:10.1109/ROMAN.2005.1513774.
- [21] SAERBECK, MARTIN und CHRISTOPH BARTNECK: *Perception of affect elicited by robot motion*. 2010 5th ACMIEEE International Conference on HumanRobot Interaction HRI, Seiten 53–60, 2010. doi:10.1145/1734454.1734473.
- [22] SISBOT ET AL., EMRAH AKIN:
A Human Aware Mobile Robot Motion Planner.
IEEE Transactions on Robotics, 23(5):874 – 883, 2007. doi:10.1109/TR0.2007.904911.
- [23] TASAKI, TSUYOSHI, SHOHEI MATSUMOTO, HAYATO OHBA, SHUNICHI YAMAMOTO, MITSUHIKO TODA, KAZUNORI KOMATANI, TETSUYA OGATA und HIROSHI G. OKUNO: *Dynamic Communication of Humanoid Robot with Multiple People Based on Interaction Distance*. Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 20(3):209–219, 2005. doi:10.1527/tjsai.20.209.

- [24] WALTERS ET AL., MICHAEL L:
An empirical framework for human-robot proxemics. In:
symposium at the AISB09 convention, Band 8, Seiten 144–149, 2009.
<http://hdl.handle.net/2299/3794>.
- [25] WILCOX, LAURIE M., ROBERT S. ALLISON, SAMUEL ELFASSY und CYNTHIA GRELIK:
Personal space in virtual reality.
ACM Transactions on Applied Perception, 3(4):412 – 428, 2006. doi:10.1145/
1190036.1190041.
- [26] YEE, NICK, JEREMY N BAIENSON, MARK URBANEK, FRANCIS CHANG und DAN
MERGET: *The unbearable likeness of being digital: the persistence of nonverbal social
norms in online virtual environments*. Cyberpsychology and Behavior, 10(1):115–121,
2007. doi:10.1089/cpb.2006.9984.

Websites

- [27] THE ECLIPSE FOUNDATION:
Graphical Editing Framework.
<http://www.eclipse.org/gef/>. Stand: 14.04.2011.
- [28] WORLD WIDE WEB CONSORTIUM:
Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 (Second Edition).
<http://www.w3.org/TR/SVG11/>. Stand: 14.04.2011.
- [29] WORLD WIDE WEB CONSORTIUM:
Synchronized Multimedia.
<http://www.w3.org/AudioVideo/>. Stand: 14.04.2011.

Abkürzungsverzeichnis

GEF Graphical Editing Framework.

HMD Head-Mounted Display.

MVC Model-View-Controller.

RCP Rich Client Platform.

SMIL Synchronized Multimedia Integration Language.

SVG Scalable Vector Graphics.

W3C World Wide Web Consortium.

WSV Wissens- und Sprachverarbeitung.

XML Extensible Markup Language.

Abbildungsverzeichnis

3.1	Verhältnis der Ausdehnung der Zonen im persönlichen Raum nach den Distanzen von Hall	16
3.2	Zonen als Ringflächen	17
3.3	Variationen des graduellen Aufbaus des persönlichen Raums	18
3.4	Veränderung des persönlichen Raums bei Bewegung in Wandrichtung . . .	19
3.5	Veränderung des persönlichen Raums in möbliertem Zimmer	20
4.1	Der Weg eines Roboters führt durch verschiedene soziale Räume	23
4.2	Persönliche Raum als Wegekosten in Form einer Gaußskurve [22]	24
4.3	Szenario für die Flurszene	25
4.4	Szenario für die Büroszene	26
5.1	Die sozialen Objekte	28
5.2	Die sozialen Räume	29
5.3	Zonen als Kreisflächen	30
5.4	Der Mensch und die Zonen seines persönlichen Raums	31
5.5	Beschreibung der Grenzen des persönlichen Raums durch Funktionen . . .	32
5.6	Fläche des persönlichen Raums als Eiform	33
5.7	Der persönliche Raum als diskrete Struktur	36
5.8	relevante Kanten eines kollidierenden Vierecks	37
5.9	Ermittlung der neuen Distanz eines Dreiecks	38
5.10	Überschneidung der Formen	39
6.1	Screenshot von dem Animatinswerkzeug	41
6.2	Klassendiagramm für den abstrakten sozialen Knoten	42
6.3	Formen innerhalb der Behälterfigur	43
6.4	Klassendiagramm für das abstrakte soziale Objekt	44
6.5	Klassendiagramm für den abstrakte sozialen Raum	45
6.6	Einordnung der sozialen Knoten in der Baumstruktur des Modells des Animationswerkzeugs	47
6.7	Screenshot von dem erweiterten Animatinswerkzeug	48

Tabellenverzeichnis

5.1	Flächen der Zonen nach den Distanzen von Hall	33
5.2	Abweichung der Fläche als diskrete Struktur	35